

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/003751

International filing date: 04 March 2005 (04.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-202405  
Filing date: 08 July 2004 (08.07.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

08. 3. 2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 4 年    7 月    8 日  
Date of Application:

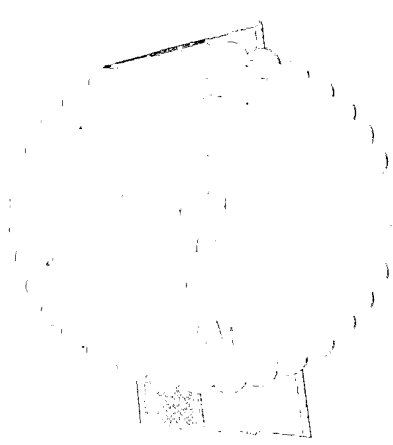
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 4 - 2 0 2 4 0 5  
Application Number:

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 4 - 2 0 2 4 0 5

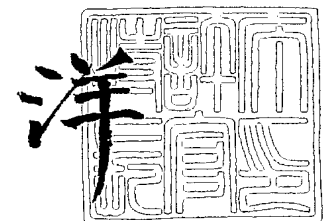
出      願      人                      浜松ホトニクス株式会社  
Applicant(s):



2 0 0 5 年    4 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 2004-0401  
【提出日】 平成16年 7月 8日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01S 5/22  
【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
                                内  
    【氏名】 宮島 博文  
【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
                                内  
    【氏名】 渡邊 明佳  
【発明者】  
    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
                                内  
    【氏名】 菅 博文  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000236436  
    【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100088155  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092657  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 寺崎 史朗  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100124291  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 石田 悟  
    【電話番号】 03-3564-8001  
    【連絡先】 担当  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2004- 61216  
    【出願日】 平成16年 3月 4日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 014708  
    【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 0307760

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

第 1 導電型クラッド層と、  
第 2 導電型クラッド層と、  
前記第 1 導電型クラッド層と前記第 2 導電型クラッド層との間に設けられた活性層と、  
所定の軸方向に並んで設けられ、互いに対向する光出射面及び光反射面と  
を備え、  
前記第 1 導電型クラッド層が、前記活性層に屈折率型導波路を形成するリッジ部を有し

、  
前記リッジ部が、前記屈折率型導波路の側面における全反射臨界角余角  $\theta_c$  に基づく角度で前記所定の軸方向と交差する互いに対向する一対の側面を有することを特徴とする、半導体レーザ素子。

**【請求項 2】**

前記光出射面と前記光反射面との間で共振する光が、前記リッジ部の前記一対の側面に対応する前記屈折率型導波路の一対の側面のそれぞれにおいて同じ回数反射するように、前記光出射面と前記光反射面との間隔及び前記リッジ部の前記一対の側面同士の間隔が設定されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 3】**

前記リッジ部の前記光出射面側の端部及び前記光反射面側の端部のうち少なくとも一方の端部における側面が、前記所定の軸方向に沿っていることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 4】**

前記リッジ部の前記一対の側面と前記所定の軸方向とのなす角  $\theta$  が、 $\theta_c - 1^\circ \leq \theta \leq \theta_c$  の範囲内であることを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 5】**

前記リッジ部の前記一対の側面と前記所定の軸方向とのなす角  $\theta$  が、前記全反射臨界角余角  $\theta_c$  と略一致していることを特徴とする、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 6】**

前記屈折率型導波路内を共振する光の波長を選択するための波長選択手段をさらに備えることを特徴とする、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 7】**

前記波長選択手段が、前記屈折率型導波路の少なくとも一部に沿って設けられた周期的な回折格子を含むことを特徴とする、請求項 6 に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 8】**

前記波長選択手段が、前記光出射面及び前記光反射面のうち少なくとも一方の面上に設けられた誘電体多層膜を含むことを特徴とする、請求項 6 または 7 に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 9】**

前記波長選択手段が、前記光出射面及び前記光反射面のうち少なくとも一方の面に対向して配置された波長選択素子を含むことを特徴とする、請求項 6 ～ 8 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

**【請求項 10】**

請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子を複数備え、

前記複数の半導体レーザ素子が、前記リッジ部の長手方向と交差する方向に並んで配置されて一体に形成されていることを特徴とする、半導体レーザ素子アレイ。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイ

【背景技術】

【0001】

従来より、半導体レーザ素子の構造として空間横シングルモード型とマルチモード型とが知られている。このうち、シングルモード型の半導体レーザ素子では、導波路内における発振モードを単一のモードのみに限定するために、導波路の幅が狭く形成される。しかし、導波路の幅が狭いと出射端の面積も小さくなる。また、出射端においてレーザ光密度が過大になると、半導体レーザ素子の信頼性等に影響する。従って、シングルモード型の半導体レーザ素子は、比較的低出力のレーザ光を用いる用途に好適に用いられる。なお、このシングルモード型の半導体レーザ素子の例としては、特許文献1に開示された半導体レーザ装置がある。この半導体レーザ装置は、シングルモード型の半導体レーザにおいて導波路の幅を拡張し、レーザ光強度を高めることを目的としている。

【0002】

他方、マルチモード型の半導体レーザ素子では、導波路内において複数のモードが混在してもよいと、導波路の幅を広く形成できる。従って、出射端の面積を大きくすることが可能となり、比較的大きな強度のレーザ光を出射することができる。このようなマルチモード型の半導体レーザ素子は、比較的高出力のレーザ光を必要とする用途に好適に用いられる。

【0003】

しかし、マルチモード型の半導体レーザ素子には、次のような問題がある。すなわち、導波路内において複数のモードが混在するため、出射端から出射されるレーザ光の出射パターンが乱れ出射角が比較的大きくなってしまふ。従って、このレーザ光を集光またはコリメートするためのレンズの形状が複雑となり、所望のレーザ光が得られなかったり、レンズが高価になるといった不利益を生じるおそれがある。

【0004】

上記したマルチモード型半導体レーザ素子の問題点を解決するための技術として、例えば特許文献2に開示された共振器がある。図23(a)は、この共振器の構成を示す平面図である。この共振器100は、活性層101内に2つの領域102a及び102bを有している。図23(b)は、図23(a)のVII-VII断面及びVIII-VIII断面における屈折率分布を示す図である。図23(b)に示すとおり、領域102a及び102bにおける屈折率 $n_2$ は、活性層101の他の領域における屈折率 $n_1$ よりも小さく形成されている。また、領域102a及び102bは、出射端100a及び反射端100bにおいて垂直に反射した光Lが該領域102a及び102bの側面にて全反射する角度で活性層101内に形成されている。特許文献2では、このような構成によって、活性層101内を共振する光Lの光路を限定し、導波路幅を制限することなく単一モード発振を実現しようとしている。

【特許文献1】特開平10-41582号公報

【特許文献2】国際公開第00/48277号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献2に開示された共振器には、以下の問題点がある。すなわち、この共振器の構成では活性層101に例えば溝を形成することによって領域102a及び102bを形成している。従って、活性層101内に領域102a及び102bのための溝と電流注入領域とを同時に作り込む必要があるため、構造が複雑となり、多くの工程を必要とする。また、活性層101への注入電流が導波路外に漏れ易い構造であるため、発光効率や電気・光変換効率が低く抑えられる。また、発光効率や電気・光変換効率の低さは、素子の温度上昇につながるため、素子の信頼性を損う、或いはレーザ光強度の向上を阻むといった不利益を生じることとなる。

## 【0006】

本発明は、上述の点を鑑みてなされたものであり、比較的大きな強度のレーザ光を出射可能であって、レーザ光の出射角が小さく、構成が単純であり、且つ効率のよい半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイを提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記課題を解決するために、本発明による半導体レーザ素子は、第1導電型クラッド層と、第2導電型クラッド層と、第1導電型クラッド層と第2導電型クラッド層との間に設けられた活性層と、所定の軸方向に並んで設けられ、互いに対向する光出射面及び光反射面とを備え、第1導電型クラッド層が、活性層に屈折率型導波路を形成するリッジ部を有し、リッジ部が、屈折率型導波路の側面における全反射臨界角余角 $\theta_c$ に基づく角度で所定の軸方向と交差する互いに対向する一対の側面を有することを特徴とする。

## 【0008】

上記半導体レーザ素子では、第1導電型クラッド層のリッジ部に電流が注入されることにより、リッジ部に対応する活性層の領域が活性領域となる。このとき、リッジ部とその外部との屈折率差によって、活性層には実効的な屈折率差が生じるため、リッジ部の平面視形状（リッジ部を第1導電型クラッド層の厚み方向から見た形状）に沿った形状の屈折率型導波路が形成される。また、このとき、リッジ部の一対の側面が屈折率型導波路の側面における全反射臨界角余角 $\theta_c$ に基づく角度で所定の軸方向と交差しているので、リッジ部の一対の側面に対応して形成される屈折率型導波路の一対の側面と所定の軸方向とのなす角が全反射臨界角余角 $\theta_c$ に基づいて定められる。ここで、全反射臨界角余角 $\theta_c$ とは、屈折率型導波路の側面における全反射臨界角（屈折率型導波路の側面の法線と光路とのなす角のうち、該側面において光が全反射する最小角）を直角から差し引いた角度である。これにより、光反射面において所定の軸方向に沿って反射した光は、屈折率型導波路の一方の側面において全反射し、他方の側面において再度全反射した後、所定の軸方向に沿って光出射面に達することとなる。光出射面において反射した光もまた、同様の光路を辿って光反射面に達する。他方、所定の軸方向と異なる方向に沿った光は、屈折率型導波路の側面を透過する。

## 【0009】

このように、上記半導体レーザ素子によれば、屈折率型導波路の構造上、共振が起こるレーザ光の光路を限定することができるため、導波路内でのレーザ発振に関わる光の角度成分が制限される。このため導波光の位相が揃って単一モード発振が生じ、さらに、出射されるレーザ光の水平方向の出射角は導波路幅の広がりに伴い小さくすることができる。また、シングルモード型のように屈折率型導波路の幅が制限されないので、より高い強度のレーザ光を出射することが可能となる。

## 【0010】

また、上記半導体レーザ素子では、容易に形成可能な第1導電型クラッド層のリッジ部によって、活性層に対して電流が部分的に集中して注入されるので、屈折率型導波路外に注入電流が漏れにくい。このため、上記半導体レーザ素子によれば、発光効率や電気・光変換効率を向上できる。また、これによって、素子の温度上昇を低減することができるので、素子の信頼性が向上するとともに、レーザ光強度を高めることが可能となる。

## 【0011】

また、半導体レーザ素子は、光出射面と光反射面との間で共振する光が、リッジ部の一対の側面に対応する屈折率型導波路の一対の側面のそれぞれにおいて同じ回数反射するように、光出射面と光反射面との間隔及びリッジ部の一対の側面同士の間隔が設定されていることを特徴してもよい。このように、共振する光が屈折率型導波路の一対の側面のそれぞれにおいて同じ回数反射（全反射）することによって、共振する光は光反射面及び光出射面の双方において所定の軸方向に沿って好適に入射／反射することができる。また、共振する光が屈折率型導波路の一対の側面において少なくとも1回ずつ全反射するので、屈折率型導波路内において光出射面と光反射面とを直線で結ぶような光路は存在しない。従

って、この半導体レーザ素子によれば、屈折率型導波路内のレーザ光の光路を好適に制限することができる。

【0012】

また、半導体レーザ素子は、リッジ部の光出射面側の端部及び光反射面側の端部のうち少なくとも一方の端部における側面が、所定の軸方向に沿っていることを特徴としてもよい。これによって、光出射面、光反射面において所定の軸方向と異なる方向へ出射されるレーザ光を抑制することができる。

【0013】

また、半導体レーザ素子は、リッジ部の一对の側面と所定の軸方向とのなす角  $\theta$  が、 $\theta_c - 1^\circ \leq \theta \leq \theta_c$  の範囲内であることを特徴としてもよい。これによって、共振するレーザ光の光路を好適に限定することができるので、高次横モードを効果的に抑制することができる。

【0014】

また、半導体レーザ素子は、リッジ部の一对の側面と所定の軸方向とのなす角  $\theta$  が、全反射臨界角余角  $\theta_c$  と略一致していることを特徴としてもよい。これによって、高次横モードをほぼ完全に抑制することができる。

【0015】

また、半導体レーザ素子は、屈折率型導波路内を共振する光の波長を選択するための波長選択手段をさらに備えることを特徴としてもよい。導波路の側面における全反射臨界角余角は、該側面において反射する光の波長に依存する。この半導体レーザ素子によれば、導波路内を共振する光の波長を波長選択手段において選択することによって、導波路側面における全反射臨界角余角のばらつきを無くし、レーザ光の光路を効率よく制限することができる。

【0016】

このような波長選択手段は、導波路の少なくとも一部に沿って設けられた周期的な回折格子によって好適に実現される。或いは、波長選択手段は、光出射面及び光反射面のうち少なくとも一方の面上に設けられた誘電体多層膜によって好適に実現される。或いは、波長選択手段は、光出射面及び光反射面のうち少なくとも一方の面に対向して配置された波長選択素子によって好適に実現される。或いは、波長選択手段は、回折格子、誘電体多層膜、及び波長選択素子のうちいずれか2つ以上の構成によって好適に実現される。

【0017】

また、本発明による半導体レーザ素子アレイは、上記したいずれかの半導体レーザ素子を複数備え、複数の半導体レーザ素子が、リッジ部の長手方向と交差する方向に並んで配置されて一体に形成されていることを特徴とする。

【0018】

上記半導体レーザ素子アレイによれば、上記したいずれかの半導体レーザ素子を備えることによって、比較的大きな強度のレーザ光を出射可能であって、レーザ光の水平方向の出射角が小さく、構成が単純であり、発光効率及び電気・光変換効率のよい半導体レーザ素子アレイを提供できる。

【0019】

さらに、上記半導体レーザ素子アレイでは、第1導電型クラッド層のリッジ部によって、活性層に対して電流が部分的に集中して注入されるので、隣り合う屈折率型導波路同士での光の結合や干渉が生じにくい。従って、各屈折率型導波路同士の間隔を比較的狭くすることが可能になるので、屈折率型導波路をより高密度に多く設けることができ、大出力で安定したレーザ光を出射することができる。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、比較的大きな強度のレーザ光を出射可能であって、レーザ光の水平方向出射パターンが単峰性でレーザ光の出射角が小さく、構成が単純であり、且つ効率のよい半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイを提供できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0021】

以下、添付図面を参照しながら本発明による半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイの実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

## 【0022】

## (第1の実施の形態)

図1は、本発明による半導体レーザ素子アレイの第1実施形態の構成を示す概略斜視図である。図1を参照すると、半導体レーザ素子アレイ1は、複数の半導体レーザ素子3が一体に形成されてなる。半導体レーザ素子アレイ1が備える半導体レーザ素子3の数は幾つでもよく、一つのみ備える場合はアレイではなく単体の半導体レーザ素子となる。半導体レーザ素子アレイ1は、互いに対向する光出射面1a及び光反射面1bを有しており、光出射面1a上には複数の半導体レーザ素子3それぞれのレーザ光出射端4aが水平方向に並んで配置されている。また、複数の半導体レーザ素子3のそれぞれは、リッジ状に成形された凸部25を有している。凸部25は、その長手方向が光出射面1a及び光反射面1bに対して斜めになるように設けられており、半導体レーザ素子3には凸部25に対応して屈折率型導波路(後述)が形成される。レーザ光出射端4aは、この屈折率型導波路の光出射面1a側の端面である。複数の半導体レーザ素子3は、凸部25の長手方向と交差する方向に並んで配置されて一体に形成されている。

## 【0023】

図2は、図1に示した半導体レーザ素子アレイ1のI-I断面を示す拡大断面図である。図2を参照すると、半導体レーザ素子アレイ1を構成する半導体レーザ素子3は、基板11と、3層の半導体層が積層された積層体8とを備えている。積層体8は、n型クラッド層(第2導電型クラッド層)13、活性層15、及びp型クラッド層(第1導電型クラッド層)17の3つの半導体層が順に積層されて構成されている。p型クラッド層17にはリッジ部9が設けられている。リッジ部9の外側の層にはp型クラッド層17と電気的に接続されるキャップ層19が設けられており、リッジ部9とキャップ層19とで凸部25を構成している。

## 【0024】

更に外側の層には外部からの電流を注入するp側電極層23が設けられている。p型クラッド層17及びキャップ層19とp側電極層23との間には絶縁層21が設けられており、絶縁層21は凸部25に対応する部分に開口部21aを有している。p側電極層23は開口部21aにおいてキャップ層19にのみ電気的に接触するようになっているので、外部からの電流注入はキャップ層19にのみ限定してなされる。また、基板11の積層体8と反対側の面上にはn側電極層29が形成されている。基板11はn-GaAsからなる。n型クラッド層13はn-AlGaAsからなり、活性層15はGaInAs/AlGaAsからなり、p型クラッド層17はp-AlGaAsからなる。またキャップ層19はp-GaAsからなり、p側電極層23はTi/Pt/Auからなり、n側電極層29はAuGe/Auからなり、絶縁層21はSiNからなる。

## 【0025】

キャップ層19に電流が注入されると、凸部25に対応する活性層15の領域(換言すれば、リッジ部9に対応する領域)が活性領域となる。このとき、リッジ部9とその外部との屈折率差によって、活性層15には実効的な屈折率差が生じるため、凸部25に対応する活性層15内に屈折率型導波路4が形成される。なお、半導体レーザ素子は、活性層とn型クラッド層13との間、及び活性層とp型クラッド層との間に、屈折率型導波路に光を閉じ込めるための光ガイド層を備えても良い。

## 【0026】

ここで、図3及び図4を参照してp型クラッド層17について説明する。図3はp型クラッド層17を含む積層体8の斜視図、図4(a)は積層体8の平面図、図4(b)は図4(a)に示した積層体8のII-II断面を示す断面図である。上述のとおり、積層体8は



、n型クラッド層13、活性層15、及びp型クラッド層17の3つの半導体層が順に積層されて構成されている。

#### 【0027】

p型クラッド層17には、光出射面1aと光反射面1bとにわたって延びる凸状のリッジ部9が設けられている。p型クラッド層17のリッジ部9以外の領域は、層が薄化された薄肉領域10となっている。リッジ部9は、その平面視形状が、光出射面1a及び光反射面1bと交差する所定の軸方向Aに対して角度 $\theta$ で交差する方向を長手方向とする平行四辺形となっている。

#### 【0028】

リッジ部9は、第1端面9a、第2端面9b、並びに互いに対向する一対の側面9c及び9dを有している。一対の側面9c及び9dは、それぞれリッジ部9の領域を規定しており、リッジ部9と薄肉領域10との境界となっている。第1端面9aは、光出射面1a上にある。第2端面9bは、光反射面1b上にある。側面9cは第1端面9aの一端から第2端面9bの一端まで延び、側面9dは第1端面9aの他の一端から第2端面9bの他の一端まで延びている。側面9c及び9dは、厚さ方向から見た平面図において所定の軸方向Aと角度 $\theta$ をなすように設けられている。

#### 【0029】

活性層15にはリッジ部9の形状に対応した屈折率型導波路4が形成される。屈折率型導波路4は、リッジ部9への電流注入により生じる活性層15内部での実効的な屈折率分布によって形成される導波路である。そして、屈折率型導波路4にはリッジ部9の第1端面9aに対応してレーザ光出射端4aが形成され、リッジ部9の側面9c、9dそれぞれに対応して一対の側面（後述）が形成される。リッジ部9における側面9c及び9dと所定の軸方向Aとのなす角 $\theta$ は、屈折率型導波路4の側面における臨界角余角 $\theta_c$ に基づいて決定される。ここで、屈折率型導波路4の側面における臨界角余角 $\theta_c$ とは、屈折率型導波路4の内外の実効的な屈折率差によって規定される全反射臨界角の余角である。後述するように、角 $\theta$ は、 $\theta_c - 1^\circ \leq \theta \leq \theta_c$ の範囲内であることが好ましく、さらには $\theta = \theta_c$ すなわち角 $\theta$ が臨界角余角 $\theta_c$ と略一致していることがより好ましい。角 $\theta$ が臨界角余角 $\theta_c$ に基づいて決定されることにより、屈折率型導波路4の一対の側面が、光出射面1a側または光反射面1b側から所定の軸方向Aに沿って入射する光を全反射させる。

#### 【0030】

また、光出射面1aと光反射面1bとの間隔（すなわち屈折率型導波路4の長さ）及びリッジ部9の一対の側面9c及び9d同士の間隔は、レーザ光出射端4a（光出射面1a）とレーザ光反射端4b（光反射面1b）との間で共振するレーザ光Lが、屈折率型導波路4の一対の側面4c及び4dのそれぞれにおいて同じ回数反射するように設けられる。

#### 【0031】

次に、半導体レーザ素子アレイ1の製造方法について図5を参照しながら説明する。図5は、各製造工程における半導体レーザ素子アレイ1の拡大断面図を示している。まず、n型GaAsの基板11を準備し、基板11上に順に、n型AlGaAsを $2.0\mu\text{m}$ 、GaInAs/AlGaAsを $0.3\mu\text{m}$ 、p型AlGaAsを $2.0\mu\text{m}$ 、p型GaAsを $0.1\mu\text{m}$ エピタキシャル成長させ、それぞれn型クラッド層13、量子井戸構造を有する活性層15、p型クラッド層17、キャップ層19を形成する（図5（a）参照）。

#### 【0032】

続いて、キャップ層19側にフォトリソによりリッジ部9に対応する形状に保護マスク51を形成し、キャップ層19及びp型クラッド層17をエッチングする。エッチングは活性層15に達しない深さで停止する（図5（b）参照）。続いて、SiN膜を結晶表面全体に堆積し、フォトリソによりリッジ部9に対応する位置のSiN膜を除去し、絶縁層21を形成する（図5（c）参照）。続いて、Ti/Pt/Au膜でp側電極層23を結晶表面全体に形成する。また、基板11側の表面の研磨、化学処理を行い、AuGe/Auによりn側電極層29を形成する（図5（d）参照）。

## 【0033】

次に、屈折率型導波路4内部におけるレーザ光の動きについて説明する。図6は、リッジ部9に対応して形成される屈折率型導波路4の形状を示す平面図である。屈折率型導波路4は、平面視形状がリッジ部9と同じ形状となる。屈折率型導波路4は、厚さ方向には活性層15とp型クラッド層17との境界面、及び活性層15とn型クラッド層13との境界面で規定される。屈折率型導波路4は、リッジ部9の第1端面9a及び第2端面9bに対応する位置にそれぞれレーザ光出射端4a及びレーザ光反射端4bを有している。レーザ光出射端4a及びレーザ光反射端4bは、活性層15のへき開面の一部であり、レーザ光Lに対する共振面として機能する。

## 【0034】

また、屈折率型導波路4は、リッジ部9の側面9c及び9dに対応する位置にそれぞれ側面4c及び4dを有している。ここで、側面4c及び4dは、屈折率型導波路4内外の屈折率差によって生じる面であり、屈折率が連続的に変化している場合にはそれぞれが或る一定の厚さを有してもよい。側面4c及び4dは、屈折率型導波路4内で発生したレーザ光Lを当該側面への入射角度によって選択的に透過又は反射させる反射面として機能する。屈折率型導波路4の側面4c及び4dと所定の軸方向Aとのなす角（すなわち、リッジ部9の側面9c及び9dと所定の軸方向Aとのなす角） $\theta$ は、前述のとおり屈折率型導波路4の側面4c及び4dにおける臨界角余角 $\theta_c$ に基づいて決定される。

## 【0035】

図6に示すように、レーザ光反射端4bにおいて所定の軸方向Aに沿って反射したレーザ光Lは、側面4cに角度 $\theta$ で入射し、全反射する。その後、レーザ光Lは側面4dに角度 $\theta$ で入射し、全反射する。こうして、側面4c及び4dで全反射したレーザ光Lは所定の軸方向Aに沿って進み、レーザ光出射端4aに達する。レーザ光出射端4aに達したレーザ光Lの一部は、レーザ光出射端4aを透過して外部へ出射される。また、他のレーザ光Lはレーザ光出射端4aにおいて所定の軸方向Aに沿って反射し、再び側面4d、4cで全反射してレーザ光反射端4bに戻る。このようにして、屈折率型導波路4内のレーザ光Lは、レーザ光出射端4aとレーザ光反射端4bとの間を往復し、共振することとなる。

## 【0036】

ここで、レーザ光Lが上記した光路に限定されるしくみについて説明する。図7は、側面4c（4d）に様々な入射角 $\theta_i$ で入射するレーザ光L1～L3について説明するための図である。なお、図7においては、側面4c、4dとレーザ光L1～L3とのなす角を、入射角 $\theta_i$ としている。また、説明の便宜のため、側面4c（4d）と所定の軸方向Aとのなす角 $\theta$ を臨界角余角 $\theta_c$ と一致させている。

## 【0037】

図7を参照すると、側面4c（4d）に角度 $\theta$ と等しい入射角 $\theta_i$ で入射したレーザ光L1は、側面4c（4d）において全反射し、レーザ光出射端4a（レーザ光反射端4b）に対し垂直に入射する。そして、レーザ光L1は、レーザ光出射端4a（レーザ光反射端4b）において反射したのち、同一の光路を辿って戻る。従って、レーザ光L1は同一光路上を共振することとなる。

## 【0038】

これに対し、側面4c（4d）に角度 $\theta$ よりも大きな入射角 $\theta_i$ で入射したレーザ光L2は、臨界角余角 $\theta_c$ を超えているので側面4c（4d）を透過することとなり、共振しない。また、側面4c（4d）に角度 $\theta$ よりも小さな入射角 $\theta_i$ で入射したレーザ光L3は、臨界角余角 $\theta_c$ を超えていないので側面4c（4d）において全反射するが、レーザ光出射端4a（レーザ光反射端4b）において反射した後、再度側面4c（4d）に入射する際に入射角が臨界角余角 $\theta_c$ を超えてしまう。従って、レーザ光L3も、結局側面4c（4d）を透過することとなり、共振しない。

## 【0039】

また、上述したように、リッジ部9の幅及び屈折率型導波路4の長さは、レーザ光Lが

一対の側面 4 c 及び 4 d のそれぞれにおいて同じ回数全反射するように設定されている。換言すれば、屈折率型導波路 4 は、レーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b との間で共振するレーザ光 L が、屈折率型導波路 4 の側面 4 c 及び 4 d おいて少なくとも 1 回は反射するように形成されている。従って、レーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b とを直線で結ぶような光路は存在せず、レーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b との間を直接往復して共振する光は存在しない。

#### 【0040】

上述のように、半導体レーザ素子 3 においては、屈折率型導波路 4 内で発生したレーザ光 L が往復して共振するための光路が、レーザ光出射端 4 a、側面 4 d、側面 4 c、及びレーザ光反射端 4 b を結ぶ光路に構造上限定されている。よって、所定の軸方向 A とほぼ平行な方向から側面 4 c、4 d に入射し、上記の限定された光路で共振するレーザ光 L のみがレーザ発振に寄与することとなる。よって、空間横モードが単一であるレーザ発振（空間横シングルモード）が得られ、レーザ光出射端 4 a から出射されるレーザ光 L の強度分布は所定の軸方向 A と平行な方向付近に偏り、その出射パターンは単峰性となる。さらに、本導波路構造は広い導波路幅を持つことが可能であるが、レーザ放射角は導波路幅に反比例することから小さな出射角を持つレーザ光を得ることができる。

#### 【0041】

屈折率型導波路 4 の側面 4 a、4 b と所定の軸方向 A とのなす角  $\theta$  は、臨界角余角  $\theta_c$  とほぼ一致していることが最も望ましいが、臨界角余角  $\theta_c$  より小さい範囲で臨界角余角  $\theta_c$  に近ければ、レーザ光 L の光路をある程度限定することができる。ここで、図 8 は、角  $\theta$  の大きさが許容される範囲を説明するためのグラフである。図 8 において、横軸は角  $\theta$  の大きさであり、縦軸は側面 4 c（4 d）へのレーザ光 L の入射角  $\theta_i$  と角  $\theta$  との差  $\theta - \theta_i$  である。なお、ここでは、側面 4 c 及び 4 d の臨界角余角  $\theta_c$  を  $4^\circ$ （すなわち、側面 4 c 及び 4 d の全反射臨界角を  $86^\circ$ ）と仮定して説明する。

#### 【0042】

図 8 を参照すると、座標  $(\theta, \theta - \theta_i) = (0, 0)$ 、 $(4, 0)$ 、 $(0, 4)$  で囲まれる領域 B が図示されている。この領域 B は、レーザ光 L がレーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b との間で共振することができる範囲を示している。例えば、角  $\theta$  が  $1^\circ$  のとき、 $0^\circ \leq \theta - \theta_i \leq 3^\circ$ 、すなわち入射角  $\theta_i$  が  $1^\circ$  以上  $4^\circ$  以下のレーザ光 L であれば、側面 4 c 及び 4 d において臨界角余角  $\theta_c$ （ $= 4^\circ$ ）を超えることなく共振することができる。しかしながら、角  $\theta$  が臨界角余角  $\theta_c$  よりも過小であると、屈折率型導波路 4 内でのレーザ光 L の空間横モードの数が増えて出射角が拡大してしまう。従って、例えば角  $\theta$  を  $3^\circ \leq \theta \leq 4^\circ$ （すなわち、 $\theta_c - 1 \leq \theta \leq \theta_c$ ）とすることにより、 $0^\circ \leq \theta - \theta_i \leq 1^\circ$ 、つまり入射角  $\theta_i$  が  $3^\circ$  以上  $4^\circ$  以下のレーザ光 L のみ共振することとなり、レーザ光 L の出射角を実用的な範囲まで小さくすることができる。

#### 【0043】

本実施形態による半導体レーザ素子 3 が有する効果について説明する。半導体レーザ素子 3 によれば、共振が起こるレーザ光 L の光路を限定することができるため、レーザ発振する光の角度成分が制限され、高次横モードが抑制され単一モードに近くなり、出射されるレーザ光 L の水平方向の出射パターンを単峰性にすることができる。また、シングルモード型のように屈折率型導波路 4 の幅すなわち側面 4 c と側面 4 d との間隔が制限されないので、レーザ光出射端 4 a におけるレーザ光密度を低減でき、より高い強度のレーザ光を出射することが可能となる。さらに、屈折率型導波路 4 の幅を広げるとレーザ光 L の水平方向の出射角を小さくすることができる。

#### 【0044】

また、本実施形態の半導体レーザ素子 3 では、図 5 (a) ~ 図 5 (d) に示したように容易に形成可能なリッジ部 9 によって、活性層 15 に対して電流が部分的に集中して注入されるので、屈折率型導波路 4 の外部へ注入電流が漏れにくい。このため、半導体レーザ素子 3 によれば、発光効率や電気・光変換効率を向上できる。また、これによって、半導体レーザ素子 3 の温度上昇を低減することができるので、半導体レーザ素子 3 の信頼性が

向上するとともに、レーザ光強度を高めることが可能となる。

#### 【0045】

また、本実施形態のように、レーザ光出射端 4 a（光出射面 1 a）とレーザ光反射端 4 b（光反射面 1 b）との間で共振するレーザ光 L が、屈折率型導波路 4 の一対の側面 4 c 及び 4 d のそれぞれにおいて同じ回数反射するように、光出射面 1 a と光反射面 1 b との間隔（すなわち屈折率型導波路 4 の長さ）及びリッジ部 9 の一対の側面 9 c 及び 9 d 同士の間隔が設定されていることが好ましい。このように、レーザ光 L が一対の側面 4 c 及び 4 d のそれぞれにおいて同じ回数反射（全反射）することによって、共振するレーザ光 L はレーザ光出射端 4 a 及びレーザ光反射端 4 b の双方において所定の軸方向 A に沿って好適に入射／反射することができる。また、このような構成により、レーザ光 L が一対の側面 4 c 及び 4 d において少なくとも 1 回ずつ全反射するので、屈折率型導波路 4 内においてレーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b とを直線で結ぶような光路は存在しない。従って、本実施形態の半導体レーザ素子 3 によれば、屈折率型導波路 4 内のレーザ光 L の光路を好適に制限することができる。

#### 【0046】

また、本実施形態による半導体レーザ素子アレイ 1 によれば、上記効果を有する半導体レーザ素子 3 を複数備えることによって、比較的大きな強度のレーザ光を出射することができるとともに、レーザ光 L の水平方向の出射角を小さくすることができる。また、半導体レーザ素子アレイ 1 によれば、簡易な構成によって発光効率及び電気・光変換効率を向上できる。

#### 【0047】

さらに、本実施形態による半導体レーザ素子アレイ 1 は、次の効果を有する。すなわち、半導体レーザ素子アレイ 1 では、p 型クラッド層 17 のリッジ部 9 によって、活性層 15 に対して電流が部分的に集中して注入される。これにより、隣り合う半導体レーザ素子 3 の屈折率型導波路 4 同士での光の結合や干渉が生じにくくなる。従って、各屈折率型導波路 4 同士の間隔を比較的狭くすることが可能になるので、屈折率型導波路 4 をより多く設けることができ、大出力で安定したレーザ光を出射することができる。さらに、活性層 15 に対して電流が部分的に集中して注入されることにより、電気・光変換効率が高まり、無効電流を低減できるので、半導体レーザ素子 3 の熱発生を低減できる。従って、半導体レーザ素子アレイ 1 の信頼性が高まり、長寿命化を実現できる。

#### 【0048】

##### （第 1 の実施例）

次に、上記した実施形態による単体の半導体レーザ素子 3 の実施例を説明する。本実施例では、屈折率型導波路 4 の側面 4 c 及び 4 d と所定の軸方向 A とのなす角  $\theta$  を、屈折率型導波路 4 内外の屈折率差に基づく臨界角余角  $4^\circ$  とした。また、屈折率型導波路 4 の側面 4 c と側面 4 d との間隔（すなわち屈折率型導波路 4 の幅）を  $40\ \mu\text{m}$  とし、レーザ光出射端 4 a とレーザ光反射端 4 b との間隔（すなわち屈折率型導波路 4 の長さ）を、図 6 に示したような光路を実現できる  $1200\ \mu\text{m}$  とした。因みに、従来のシングルモード型半導体レーザ素子（特許文献 1 に開示されたものを含む）の導波路幅は、最大でも約  $5\ \mu\text{m}$  である。従って、上記実施形態に係る半導体レーザ素子 3 の屈折率型導波路 4 の幅が従来のシングルモード型半導体レーザ素子と比較して格段に大きいことがわかる。

#### 【0049】

図 9（a）は、本実施例による、半導体レーザ素子 3 の電流－光出力特性を示すグラフである。図 9（a）によれば、半導体レーザ素子 3 に供給した電流とレーザ光出力とが直線的な相関関係を示しており、いわゆるキンクも生じていないので、半導体レーザ素子 3 においては安定した空間横シングルモードが得られ、スロープ効率は  $0.75\ \text{W/A}$  である。また、図 9（b）は、半導体レーザ素子 3 のレーザ光出射端 4 a から出射されたレーザ光 L の水平方向の遠視野像を示すグラフである。図 9（b）に示すとおり、半導体レーザ素子 3 においては、レーザ光 L の遠視野像における強度分布が所定の軸方向（ $0^\circ$ ）に偏っており、水平方向の出射角が小さいことがわかる。図 9（b）によれば、ピークの半

値幅は $2^{\circ}$ 程度となっている。

#### 【0050】

また、比較例として、特許文献2に開示された共振器の特性を図10(a)及び図10(b)に示す。図10(a)は、この共振器の電流－光出力特性を示すグラフである。図10(a)によれば、レーザ光出力の上昇とともに空間横モードの変化に対応したレーザ光出力特性の乱れ（いわゆるキंक）が生じモードが不安定であり、このときのスロープ効率は $0.5\text{ W/A}$ である。また、図10(b)は、この共振器から出射されたレーザ光の水平方向の遠視野像を示すグラフである。図10(b)によれば、メインピークの半値幅は $2^{\circ}$ 程度である。

#### 【0051】

このように、本実施例に係る半導体レーザ素子3によれば、特許文献2に開示された共振器と比較して、発光効率及び電気・光変換効率を向上できるとともに、高出力時においても安定した空間横シングルモード動作が可能となる。

#### 【0052】

（第2の実施例）

次に、上記した実施形態による、複数の半導体レーザ素子3を備える半導体レーザ素子アレイ1の実施例について説明する。本実施例では、 $200\mu\text{m}$ のピッチで $1\text{cm}$ 内に50個のリッジ部9を形成した。図11(a)は、半導体レーザ素子アレイ1の電流－光出力特性を示すグラフである。図11(a)によれば、半導体レーザ素子アレイ1の各半導体レーザ素子3に供給した電流とレーザ光出力とが直線的な相関関係を示しており、いわゆるキंकも生じていない。また、このグラフから読みとれる素子のスロープ効率は $0.75\text{ W/A}$ であり、単体の半導体レーザ素子3の場合と同等である。従って、レーザ光が導波路同士で結合及び干渉するおそれのある特許文献2の共振器と比較して、リッジ部9を備える半導体レーザ素子アレイ1の構造が優れているといえる。

#### 【0053】

また、図11(b)は、本実施例に係る半導体レーザ素子アレイ1が備える各半導体レーザ素子3のレーザ光出射端4aから出射されたレーザ光Lの水平方向の遠視野像を示すグラフである。図11(b)に示すとおり、半導体レーザ素子アレイ1においては、レーザ光Lの遠視野像における強度分布が単体の半導体レーザ素子3における該強度分布（図9(b)参照）と同様であるので、アレイ化しても単体の素子と同様の特性が維持されていることがわかる。

#### 【0054】

このように、本実施例に係る半導体レーザ素子アレイ1によれば、リッジ構造が活性層15への注入電流を集中させることにより、アレイ化したことによる屈折率型導波路4同士のレーザ光の結合、干渉等を好適に抑えることができる。

#### 【0055】

（第2の実施の形態）

次に、本発明による半導体レーザ素子アレイ（半導体レーザ素子）の第2実施形態について説明する。図12は、本実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路41を示す平面図である。この屈折率型導波路41は、その平面形状が第1実施形態による屈折率型導波路4と異なる。すなわち、屈折率型導波路41は、4つの側面41c～41fを備えている。このうち、側面41cと側面41dとが互いに対向しており、側面41eと側面41fとが互いに対向している。側面41cの一端はレーザ光反射端41bの一端に接しており、側面41dの一端はレーザ光反射端41bの他端に接している。側面41cの他端は側面41eの一端に繋がっており、側面41dの他端は側面41fの一端に繋がっている。側面41eの他端はレーザ光出射端41aの一端に接しており、側面41fの他端はレーザ光出射端41aの他端に接している。側面41c～41fは、それぞれ所定の軸方向Aと角度 $\theta$ で交差している。側面41cと側面41eとは互いに角度 $2\theta$ をなして繋がっており、側面41dと側面41fとは互いに角度 $2\theta$ をなして繋がっている。本実施形態では、このような形状の屈折率型導波路41が、同様の平面形状を有するリ

ッジ部を p 型クラッド層が有することによって実現される。

【0056】

レーザ光反射端 41b を所定の軸方向 A に沿って反射したレーザ光 L は、側面 41c において全反射され、側面 41d において再度全反射されることによって再び所定の軸方向 A に沿った方向に進む。そして、側面 41f において全反射され、側面 41e において再度全反射されることによって、所定の軸方向 A に沿ってレーザ光出射端 41a に入射することとなる。レーザ光出射端 41a に達したレーザ光 L の一部はレーザ光出射端 41a において所定の軸方向 A に沿って反射し、上記と同様の光路を逆に辿ってレーザ光反射端 41b に達する。このようにして、レーザ光 L は、レーザ光出射端 41a とレーザ光反射端 41b との間を共振することとなる。

【0057】

本発明による半導体レーザ素子は、上記第 1 実施形態による屈折率型導波路 4 に限らず、本実施形態のような形状の屈折率型導波路 41 を有してもよい。これによって、第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施形態の屈折率型導波路 41 によれば、レーザ光 L を側面 41c ~ 41f において第 1 実施形態よりも多くの回数全反射させているので、所定の軸方向 A に沿った方向を進むレーザ光 L 以外のレーザ光を除去する効果が高まり、レーザ光 L の共振モードを単一モードにさらに近づけることができる。

【0058】

(第 3 の実施の形態)

次に、本発明による半導体レーザ素子アレイ (半導体レーザ素子) の第 3 実施形態について説明する。図 13 は、本実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路 42 を示す平面図である。屈折率型導波路 42 は、8 つの側面 42c ~ 42j を備えている。このうち、側面 42c と側面 42d とが互いに対向しており、側面 42e と側面 42f とが互いに対向しており、側面 42g と側面 42h とが互いに対向しており、側面 42i と側面 42j とが互いに対向している。側面 42c の一端はレーザ光反射端 42b の一端に接しており、側面 42d の一端はレーザ光反射端 42b の他端に接している。側面 42c の他端は側面 42e の一端に繋がっており、側面 42d の他端は側面 42f の一端に繋がっている。側面 42e の他端は側面 42g の一端に繋がっており、側面 42f の他端は側面 42h の一端に繋がっている。側面 42g の他端は側面 42i の一端に繋がっており、側面 42h の他端は側面 42j の一端に繋がっている。側面 42i の他端はレーザ光出射端 42a の一端に接しており、側面 42j の他端はレーザ光出射端 42a の他端に接している。側面 42c ~ 42i は、それぞれ所定の軸方向 A と角度  $\theta$  で交差している。側面 42c と側面 42e とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっており、側面 42d と側面 42f とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっている。側面 42e と側面 42g とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっており、側面 42f と側面 42h とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっている。側面 42g と側面 42i とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっており、側面 42h と側面 42j とは互いに角度  $2\theta$  をなして繋がっている。本実施形態では、このような形状の屈折率型導波路 42 が、同様の平面形状を有するリッジ部を p 型クラッド層が有することによって実現される。

【0059】

レーザ光反射端 42b を所定の軸方向 A に沿って反射したレーザ光 L は、側面 42c、42d、42f、42e、42g、42h、42j、42i の順に全反射されることによって、所定の軸方向 A に沿ってレーザ光出射端 42a に入射することとなる。レーザ光出射端 42a に達したレーザ光 L の一部はレーザ光出射端 42a において反射し、上記と同様の光路を逆に辿ってレーザ光反射端 42b に達する。このようにして、レーザ光 L は、レーザ光出射端 42a とレーザ光反射端 42b との間を共振する。

【0060】

本発明による半導体レーザ素子は、本実施形態のような形状の屈折率型導波路 42 を有してもよい。これによって、第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0061】

## (第4の実施の形態)

次に、本発明による半導体レーザ素子アレイ（半導体レーザ素子）の第4実施形態について説明する。図14は、本実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路43を示す平面図である。本実施形態の屈折率型導波路43の形状は、以下の点を除いて上記第1実施形態と同様である。すなわち、本実施形態では、レーザ光反射端43bにおいて所定の軸方向Aに沿って反射したレーザ光Lが、側面43c及び43dのそれぞれにおいて2回ずつ全反射するように、側面43cと側面43dとの間隔（屈折率型導波路43の幅）及びレーザ光出射端43a（光出射面1a）とレーザ光反射端43b（光反射面1b）との間隔（すなわち屈折率型導波路43の長さ）が設定されている。

## 【0062】

レーザ光反射端43bを所定の軸方向Aに沿って反射したレーザ光Lは、側面43cにおいて全反射され、側面43dにおいて再度全反射されることによって再び所定の軸方向Aに沿った方向に進む。そして、再び側面43cにおいて全反射され、側面43dにおいて全反射されることによって、所定の軸方向Aに沿ってレーザ光出射端43aに入射することとなる。レーザ光Lの一部はレーザ光出射端43aにおいて所定の軸方向Aに沿って反射し、上記と同様の光路を逆に辿ってレーザ光反射端43bに達する。このようにして、レーザ光Lは、レーザ光出射端43aとレーザ光反射端43bとの間を共振する。

## 【0063】

本発明による半導体レーザ素子は、本実施形態のような形状の屈折率型導波路43を有してもよい。これによって、第1実施形態と同様の効果を得ることができる。なお、屈折率型導波路の側面においてレーザ光を全反射させる回数は、第1実施形態（各側面において一回ずつ）、及び本実施形態（各側面において二回ずつ）に限らず、任意の回数に設定することができる。また、本実施形態のように屈折率型導波路の側面における反射回数を多くするためには、屈折率型導波路の長さを長くするとよい。屈折率型導波路の長さを長く設定することにより、半導体レーザ素子からの熱放出を活発にして大出力化、長寿命化を図ることができる。

## 【0064】

## (第5の実施の形態)

次に、本発明による半導体レーザ素子アレイ（半導体レーザ素子）の第5実施形態について説明する。図15は、本実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路44を示す平面図である。本実施形態の屈折率型導波路44の平面形状は、以下の点を除いて第1実施形態による屈折率型導波路4と同様である。すなわち、本実施形態の屈折率型導波路44は、レーザ光出射端44a側（すなわち光出射面1a側）の端部における側面44g及び44h、並びにレーザ光反射端44b側（すなわち光反射面1b側）の端部における側面44e及び44fが、所定の軸方向Aに沿って形成されている。

## 【0065】

具体的には、屈折率型導波路44は、6つの側面44c～44hを備えている。このうち、側面44cと側面44dとが互いに対向しており、側面44eと側面44fとが互いに対向しており、側面44gと側面44hとが互いに対向している。側面44eの一端はレーザ光反射端44bの一端に接しており、側面44fの一端はレーザ光反射端44bの他端に接している。側面44eの他端は側面44cの一端に繋がっており、側面44fの他端は側面44dの一端に繋がっている。側面44cの他端は側面44gの一端に繋がっており、側面44dの他端は側面44hの一端に繋がっている。側面44gの他端はレーザ光出射端44aの一端に接しており、側面44hの他端はレーザ光出射端44aの他端に接している。側面44c及び44dは、それぞれ所定の軸方向Aと角度 $\theta$ で交差している。また、側面44e～44hは、それぞれ所定の軸方向Aに沿って延びている。側面44eと側面44cとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっており、側面44fと側面44dとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっている。側面44cと側面44gとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっており、側面44dと側面44hとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっている。本実施形態では、このような形状の屈折率型導波路44が、同様の平面形状を有するリッジ部を

p型クラッド層が有することによって実現される。

**【0066】**

レーザ光反射端44bを所定の軸方向Aに沿って反射したレーザ光Lは、側面44cにおいて全反射され、側面44dにおいて再度全反射されることによって、所定の軸方向Aに沿ってレーザ光出射端44aに入射することとなる。レーザ光Lの一部はレーザ光出射端44aにおいて所定の軸方向Aに沿って反射し、上記と同様の光路を逆に辿ってレーザ光反射端44bに達する。このようにして、レーザ光Lは、レーザ光出射端44aとレーザ光反射端44bとの間を共振することとなる。

**【0067】**

本発明による半導体レーザ素子は、本実施形態のような形状の屈折率型導波路44を有してもよい。これによって、第1実施形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施形態の屈折率型導波路44では、屈折率型導波路44の両端部の側面44e～44hが所定の軸方向Aに沿って形成されているので、レーザ光出射端44a及びレーザ光反射端44bにおいて所定の軸方向Aと異なる方向へ出射されるレーザ光L（サイドモード光）を抑制することができる。従って、本実施形態の屈折率型導波路44によれば、レーザ光Lの出射角をより小さくすることができる。なお、所定の軸方向に沿った側面は、屈折率型導波路のレーザ光出射端44a側（すなわち光出射面1a側）の端部のみに形成されてもよく、屈折率型導波路のレーザ光反射端44b側（すなわち光反射面1b側）の端部のみに形成されてもよい。

**【0068】**

（第6の実施の形態）

次に、本発明による半導体レーザ素子アレイ（半導体レーザ素子）の第6実施形態について説明する。図16は、本実施形態による半導体レーザ素子3aが有する屈折率型導波路45付近を示す平面図である。本実施形態の屈折率型導波路45の平面形状は、以下の点を除いて第1実施形態による屈折率型導波路4と同様である。すなわち、本実施形態の屈折率型導波路45は、レーザ光反射端45b側（すなわち光反射面1b側）の端部における側面45e及び45fが、所定の軸方向Aに沿って形成されている。

**【0069】**

具体的には、屈折率型導波路45は、4つの側面45c～45fを備えている。このうち、側面45cと側面45dとが互いに対向しており、側面45eと側面45fとが互いに対向している。側面45eの一端はレーザ光反射端45bの一端に接しており、側面45fの一端はレーザ光反射端45bの他端に接している。側面45eの他端は側面45cの一端に繋がっており、側面45fの他端は側面45dの一端に繋がっている。側面45cの他端はレーザ光出射端45aの一端に接しており、側面45dの他端はレーザ光出射端45aの他端に接している。側面45c及び45dは、それぞれ所定の軸方向Aと角度 $\theta$ で交差している。また、側面45e及び45fは、それぞれ所定の軸方向Aに沿って延びている。側面45eと側面45cとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっており、側面45fと側面45dとは互いに角度 $\theta$ をなして繋がっている。本実施形態では、このような形状の屈折率型導波路45が、同様の平面形状を有するリッジ部をp型クラッド層が有することによって実現される。なお、屈折率型導波路45のうち、側面45c及び45dによって規定される部分の長さは例えば $1200\mu\text{m}$ であり、側面45e及び45fによって規定される部分の長さは例えば $30\mu\text{m}$ である。また、屈折率型導波路45の幅（側面間隔）は、例えば $30\mu\text{m}$ である。

**【0070】**

レーザ光反射端45bを所定の軸方向Aに沿って反射したレーザ光Lは、側面45cにおいて全反射され、側面45dにおいて再度全反射されることによって、所定の軸方向Aに沿ってレーザ光出射端45aに入射することとなる。レーザ光Lの一部はレーザ光出射端45aにおいて所定の軸方向Aに沿って反射し、上記と同様の光路を逆に辿ってレーザ光反射端45bに達する。このようにして、レーザ光Lは、レーザ光出射端45aとレーザ光反射端45bとの間を共振することとなる。



## 【0071】

また、本実施形態の半導体レーザ素子 3 a は、更に、周期的な回折格子（グレーティング）71 a 及び 71 b を備える。回折格子 71 a 及び 71 b は、導波路 45 内部を共振するレーザ光 L の波長を選択するための波長選択手段であり、導波路 45 の少なくとも一部（本実施形態では、側面 45 e 及び 45 f によって構成される部分）に沿って設けられている。

## 【0072】

図 17 は、図 16 に示した半導体レーザ素子 3 a の IV-IV 断面の一部を示す断面図である。図 17 を参照すると、回折格子 71 a は、導波路 45 に沿って p 型クラッド層 17 の内部に形成されている。この回折格子 71 a のピッチ p は、モード次数を M、導波路 45 の屈折率を n、発振波長を  $\lambda$  として  $p = M \times \lambda / 2n$  によって決定される。例えば、発振波長  $\lambda = 940 \text{ nm}$ 、屈折率  $n = 3.4$  とすると、1 次モードではピッチ  $p = 138 \text{ nm}$ 、2 次モードではピッチ  $p = 276 \text{ nm}$  となる。

## 【0073】

図 18 (a) ~ 図 18 (c) は、回折格子 71 a の形成工程の一例を示す図である。まず、図 18 (a) に示すように、基板 11 上に n 型クラッド層 13、活性層 15、及び一部の p 型クラッド層 17 a を順次成長させた後、p 型クラッド層 17 a 上に周期的な開口 73 a を有するレジスト膜 73 を形成する。このとき、レジスト膜 73 の開口 73 a の形成方法としては、マッハツェンダー干渉系などによるレーザ光の干渉縞を用いる光束干渉露光法や、電子ビームをレジスト膜 73 に当てることにより開口 73 a を形成する電子ビーム直描法などを用いることができる。そして、レジスト膜 73 を介して p 型クラッド層 17 a をエッチングすることにより、図 18 (b) に示すように、p 型クラッド層 17 a の表面に回折格子 71 a が形成される。続いて、図 18 (c) に示すように、p 型クラッド層 17 a 上に残りの p 型クラッド層 17 b を成長させる。こうして、p 型クラッド層 17 の内部に回折格子 71 a が形成される。なお、この例では回折格子 71 a を p 型クラッド層 17 の内部に形成しているが、活性層 15 と p 型クラッド層 17 との境界面に回折格子を形成してもよい。また、半導体レーザ素子が p 型クラッド層と活性層との間に光ガイド層を備える場合には、光ガイド層と p 型クラッド層との境界面や、活性層と光ガイド層との境界面、或いは光ガイド層の内部などに回折格子を形成してもよい。

## 【0074】

図 19 (a) は、図 16 に示した半導体レーザ素子 3 a の V-V 断面を示す断面図である。また、図 19 (b) は、図 19 (a) に示した半導体レーザ素子 3 a の VI-VI 断面の一部を示す断面図である。なお、図 19 (a) 及び図 19 (b) においては、絶縁層 21 及び p 側電極層 23 の図示を省略している。図 19 (a) 及び図 19 (b) を参照すると、回折格子 71 b は、導波路 45 の側面 45 e 及び 45 f に沿った p 型クラッド層 17 の薄肉領域 10 の表面に形成されている。なお、回折格子 71 b の形成方法の一例としては、p 型クラッド層 17 をエッチングして薄肉領域 10 を形成（図 5 (b) 参照）した後に、薄肉領域 10 の表面を、周期的な開口を有するレジスト膜を介してエッチングするといった方法がある。なお、回折格子 71 b は、回折格子 71 a のピッチ p と同じピッチ p で形成される。

## 【0075】

本実施形態の半導体レーザ素子 3 a のように、半導体レーザ素子は、導波路 45 内を共振するレーザ光 L の波長を選択するための波長選択手段（回折格子 71 a 及び 71 b）を更に備えることが好ましい。導波路 45 の側面 45 c 及び 45 d における臨界角余角  $\theta_c$  は、側面 45 c 及び 45 d において反射するレーザ光 L の波長に依存する。本実施形態の半導体レーザ素子 3 a によれば、導波路 45 内を共振するレーザ光 L の波長を回折格子 71 a 及び 71 b によって選択することにより、導波路 45 の側面 45 c 及び 45 d における臨界角余角  $\theta_c$  のばらつきを無くし、レーザ光 L の光路を効率よく制限することができる。

## 【0076】

また、本発明による半導体レーザ素子は、本実施形態のような形状の屈折率型導波路 45 を有してもよい。これによって、第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施形態の屈折率型導波路 45 では、屈折率型導波路 45 の一端部の側面 45 e 及び 45 f が所定の軸方向 A に沿って形成されているので、所定の軸方向 A と異なる方向へ出射されるレーザ光 L (サイドモード光) を抑制することができる。

#### 【0077】

図 20 (a) 及び図 20 (b) は、本実施形態による半導体レーザ素子 3 a の変形例を示す平面図である。図 20 (a) を参照すると、導波路 45 の少なくとも一部に沿った波長選択手段として回折格子 71 a のみが設けられている。また、図 20 (b) を参照すると、導波路 45 の少なくとも一部に沿った波長選択手段として回折格子 71 b のみが設けられている。これらのように、回折格子 71 a 及び 71 b は、それぞれ単独で設けられてもよく、導波路 45 内を共振するレーザ光 L の波長を好適に選択できる。

#### 【0078】

(第 7 の実施の形態)

続いて、本発明による半導体レーザ素子 (半導体レーザ素子アレイ) の第 7 実施形態について説明する。図 21 は、本実施形態による半導体レーザ素子 3 b の導波路 4 付近の構成を示す平面図である。本実施形態の半導体レーザ素子 3 b と第 1 実施形態の半導体レーザ素子 3 との相違点は、誘電体多層膜 77 の有無である。誘電体多層膜 77 は、導波路 4 内部を共振するレーザ光 L の波長を選択するための波長選択手段である。

#### 【0079】

誘電体多層膜 77 は、半導体レーザ素子 3 b の光出射面 1 a 上に設けられている。なお、誘電体多層膜 77 は、光反射面 1 b 上に設けられてもよく、光出射面 1 a 及び光反射面 1 b の双方の上に設けられてもよい。誘電体多層膜 77 は、例えば  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\alpha\text{-Si}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_3$  などの誘電体材料からなる。本実施形態の誘電体多層膜 77 は、例えば  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  が交互に積層されてなる。誘電体多層膜 77 は、例えばスパッタリングや電子ビーム蒸着などの方法によって光出射面 1 a 上に形成される。誘電体多層膜 77 の各層の層厚  $t$  は、各材料の屈折率を  $n$ 、選択波長を  $\lambda$  として  $t = \lambda / 4n$  に設定される。

#### 【0080】

半導体レーザ素子が備える波長選択手段は、本実施形態のような誘電体多層膜 77 を含んでもよい。半導体レーザ素子 3 b が誘電体多層膜 77 を備えることによって、導波路 4 内を共振するレーザ光 L の波長が選択されるので、導波路 4 の側面 4 c 及び 4 d における臨界角余角  $\theta_c$  のばらつきを無くし、レーザ光 L の光路を効率よく制限することができる。

#### 【0081】

(第 8 の実施の形態)

続いて、本発明による半導体レーザ素子 (半導体レーザ素子アレイ) の第 8 実施形態について説明する。図 22 は、本実施形態による半導体レーザ素子 3 c の導波路 4 付近の構成を示す平面図である。本実施形態の半導体レーザ素子 3 c と第 1 実施形態の半導体レーザ素子 3 との相違点は、波長選択素子 79 の有無である。波長選択素子 79 は、導波路 4 内部を共振するレーザ光 L の波長を選択するための波長選択手段である。

#### 【0082】

波長選択素子 79 としては、エタロンや部分反射ミラー (例えば反射率 30%) などが好適に用いられる。波長選択素子 79 は、半導体レーザ素子 3 c の光出射面 1 a と対向する位置に設けられる。なお、波長選択素子 79 は、半導体レーザ素子 3 c に固定されていてもよいし、光学系において半導体レーザ素子 3 c と並んで固定されていてもよい。また、波長選択素子は、光反射面 1 b と対向する位置に設けられてもよく、光出射面 1 a と対向する位置及び光反射面 1 b と対向する位置のそれぞれに設けられてもよい。波長選択素子 79 と対向する半導体レーザ素子 3 c の面 (本実施形態では光出射面 1 a) の面上には、反射防止膜 (AR コート) 81 が設けられることが好ましい。

## 【0083】

半導体レーザ素子が備える波長選択手段は、本実施形態のような波長選択素子を含んでもよい。半導体レーザ素子3cが波長選択素子79を備えることによって、導波路4内を共振するレーザ光Lの波長が選択されるので、導波路4の側面4c及び4dにおける臨界角余角 $\theta_c$ のばらつきを無くし、レーザ光Lの光路を効率よく制限することができる。なお、波長選択素子としては、例示したエタロンや部分反射ミラー以外にも、同様の機能をもつ様々な素子を用いることができる。

## 【0084】

また、波長選択手段としては、上述した第6実施形態の回折格子71aや71b、第7実施形態の誘電体多層膜77、及び第8実施形態の波長選択素子79のうち、2つ以上の構成を用いても良い。また、波長選択手段としては、これら以外にも同様の機能をもつ様々な手段を用いることができる。

## 【0085】

本発明による半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイは、上記各実施形態及び変形例に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記各実施形態ではGaAs系半導体レーザ素子を例示したが、本発明の構成は、GaN系やInP系など、他の材料系の半導体レーザ素子にも適用できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0086】

【図1】本発明による半導体レーザ素子アレイの第1実施形態の構成を示す概略斜視図である。

【図2】図1に示した半導体レーザ素子アレイのI-I断面を示す拡大断面図である。

【図3】p型クラッド層17を含む積層体8の斜視図である。

【図4】(a)積層体の平面図である。(b)(a)に示した積層体のII-II断面を示す断面図である。

【図5】(a)～(d)各製造工程における半導体レーザ素子アレイの拡大断面図を示している。

【図6】リッジ部に対応して形成される屈折率型導波路の形状を示す平面図である。

【図7】屈折率型導波路の側面に様々な入射角 $\theta_i$ で入射するレーザ光について説明するための図である。

【図8】角 $\theta$ の大きさが許容される範囲を説明するためのグラフである。

【図9】(a)本実施例による半導体レーザ素子の電流－光出力特性を示すグラフである。(b)半導体レーザ素子のレーザ光出射端から出射されたレーザ光の水平方向の遠視野像を示すグラフである。

【図10】(a)従来の共振器の電流－光出力特性を示すグラフである。(b)従来の共振器から出射されたレーザ光の水平方向の遠視野像を示すグラフである。

【図11】(a)半導体レーザ素子アレイの電流－光出力特性を示すグラフである。(b)本実施例に係る半導体レーザ素子アレイが備える各半導体レーザ素子のレーザ光出射端から出射されたレーザ光の水平方向の遠視野像を示すグラフである。

【図12】第2実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路を示す平面図である。

【図13】第3実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路を示す平面図である。

【図14】第4実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路を示す平面図である。

【図15】第5実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路を示す平面図である。

【図16】第6実施形態による半導体レーザ素子が有する屈折率型導波路付近を示す平面図である。

【図 17】 図 16 に示した半導体レーザ素子の IV-IV 断面の一部を示す断面図である。

【図 18】 (a) ~ (c) 回折格子の形成工程の一例を示す図である。

【図 19】 (a) 図 16 に示した半導体レーザ素子の V-V 断面を示す断面図である。

(b) (a) に示した半導体レーザ素子の VI-VI 断面の一部を示す断面図である。

【図 20】 (a) (b) 第 6 実施形態による半導体レーザ素子の変形例を示す平面図である。

【図 21】 第 7 実施形態による半導体レーザ素子の導波路付近の構成を示す平面図である。

【図 22】 第 8 実施形態による半導体レーザ素子の導波路付近の構成を示す平面図である。

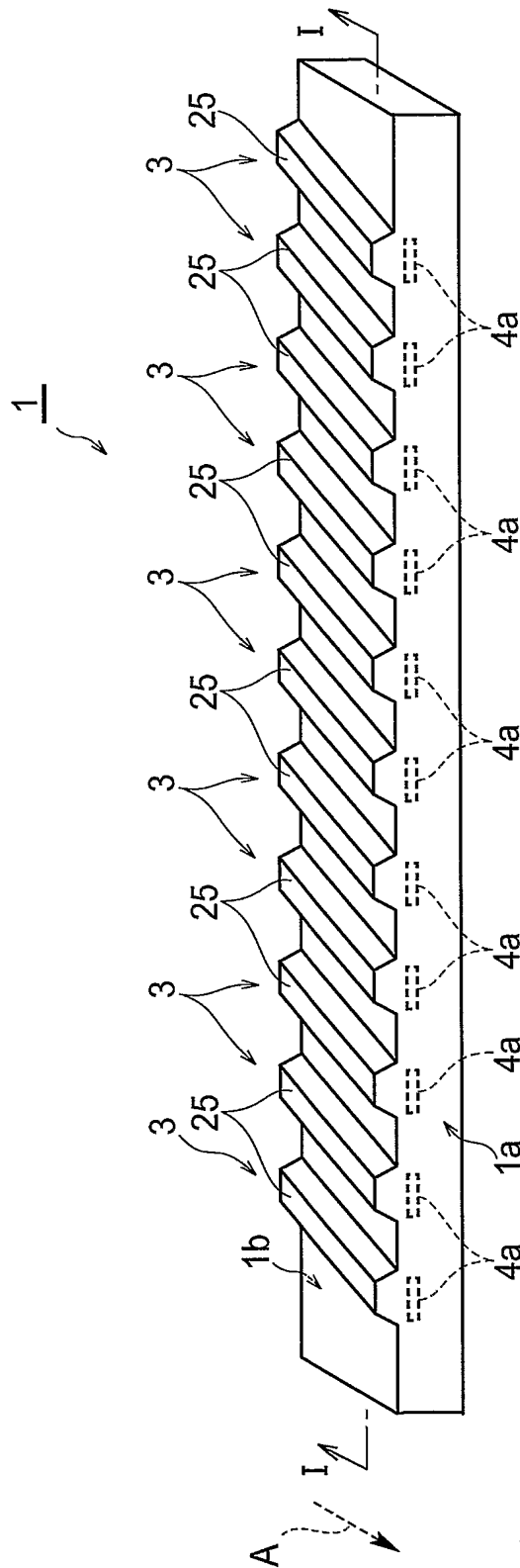
【図 23】 (a) 従来の共振器の構成を示す平面図である。(b) (a) の VII-VII 断面及び VIII-VIII 断面における屈折率分布を示す図である。

【符号の説明】

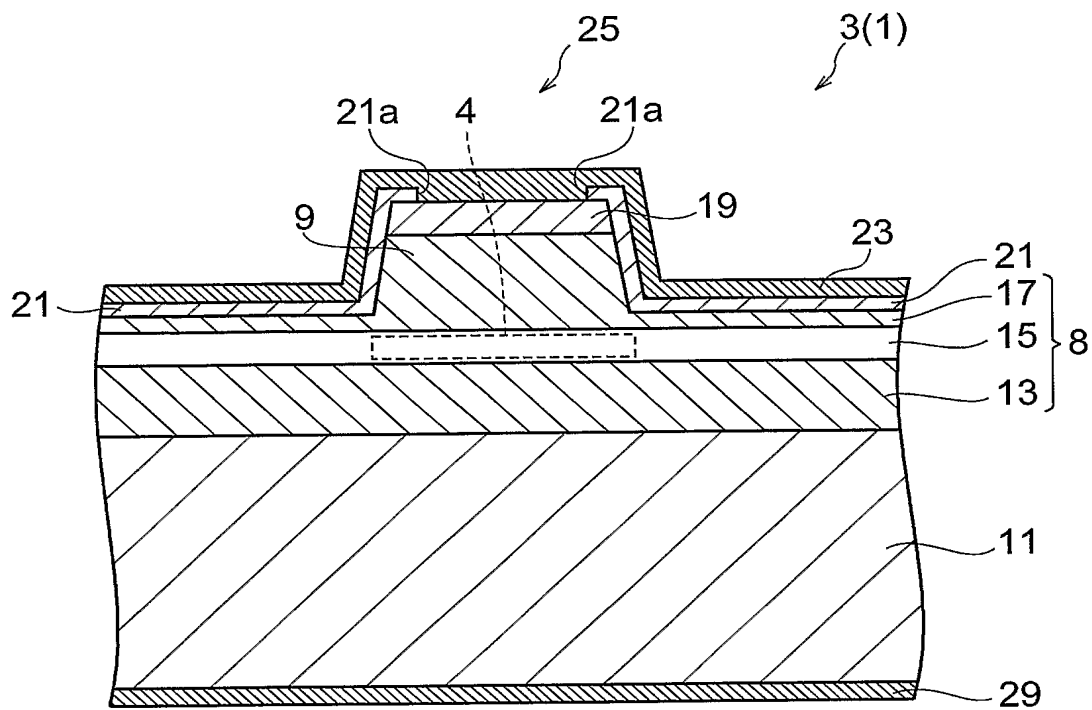
【0087】

1…半導体レーザ素子アレイ、1a…光出射面、1b…光反射面、3…半導体レーザ素子、4, 41~44…屈折率型導波路、4a, 41a~44a…レーザ光出射端、4b, 41b~44b…レーザ光反射端、4c, 4d, 41c~41f, 42c~42j, 43c, 43d, 44c~44h…側面、8…積層体、9…リッジ部、9a…第1端面、9b…第2端面、9c, 9d…側面、10…薄肉領域、11…基板、13…n型クラッド層、15…活性層、17…p型クラッド層、19…キャップ層、21…絶縁層、21a…開口部、23…p側電極層、25…凸部、29…n側電極層、51…保護マスク。

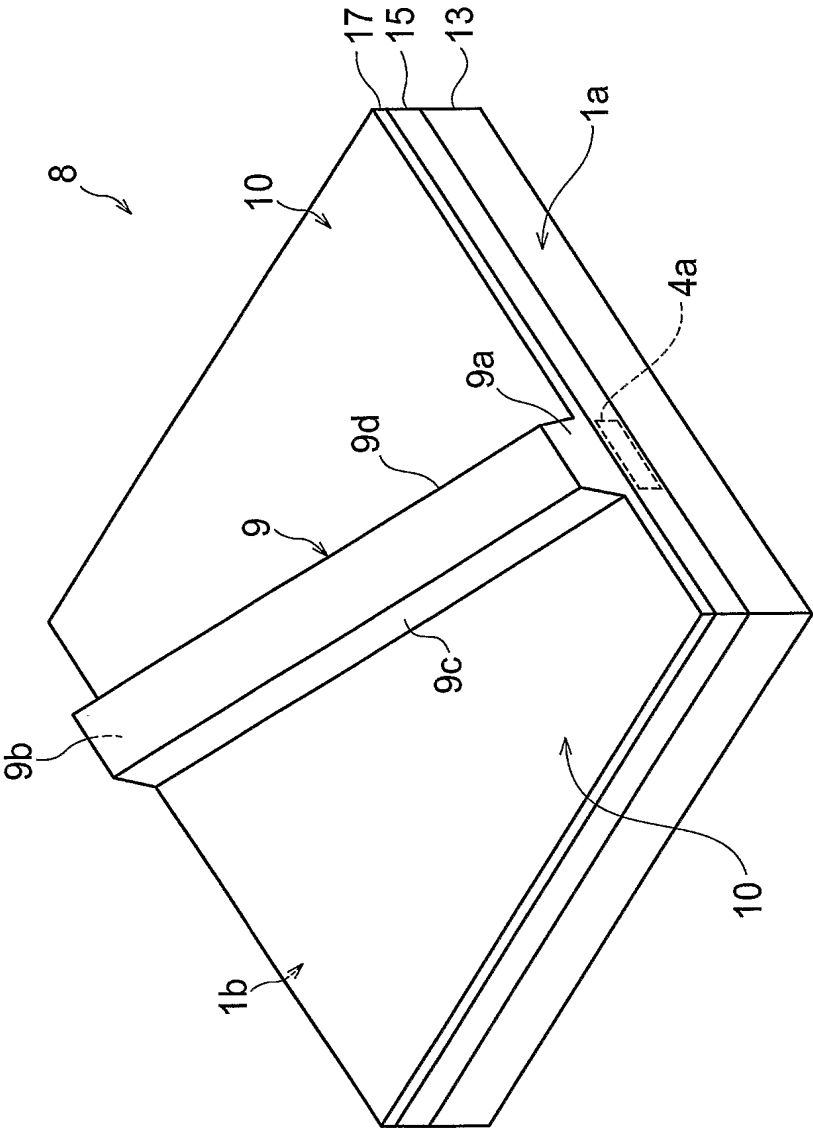
【書類名】 図面  
【図 1】



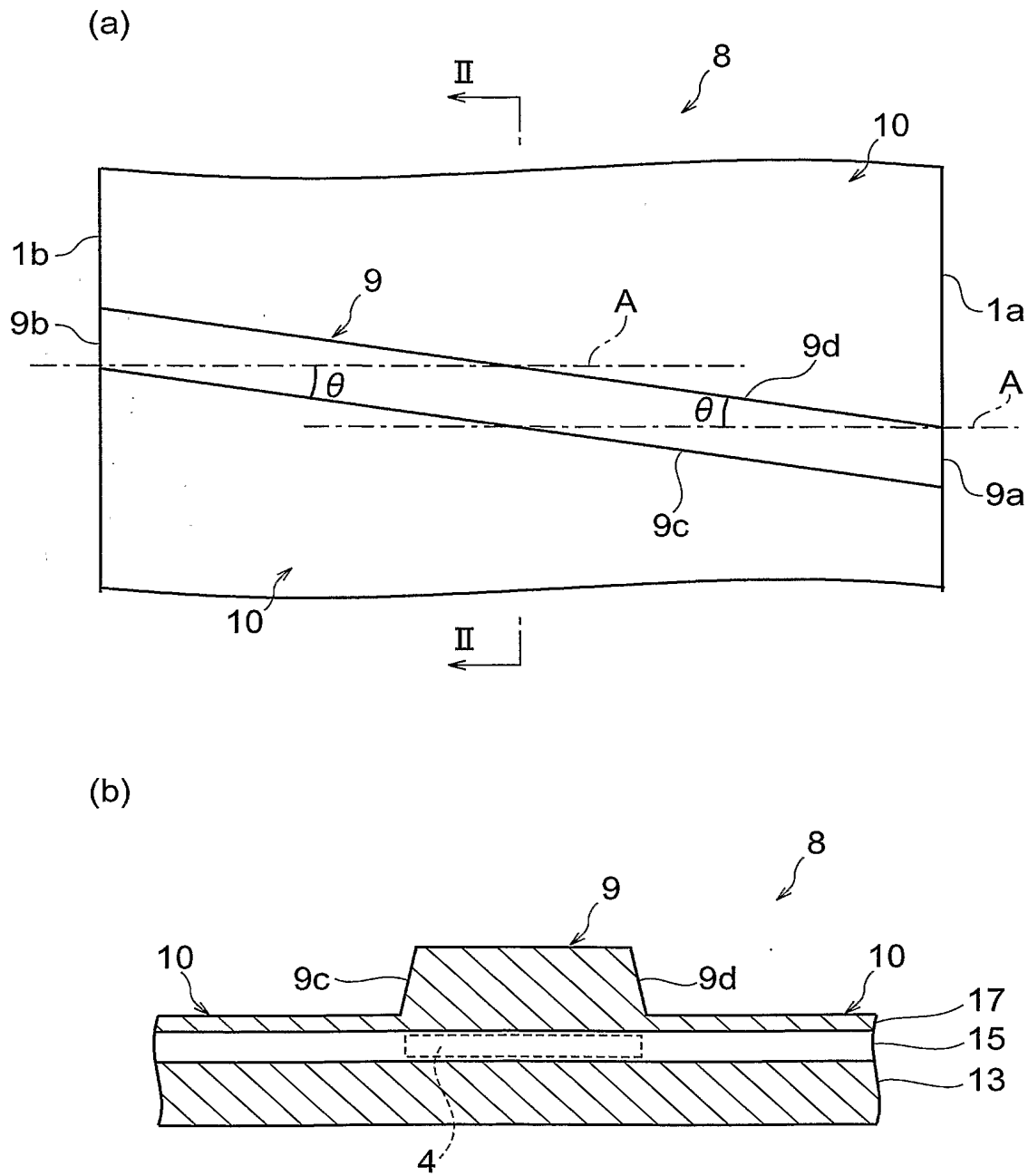
【図 2】



【図 3】

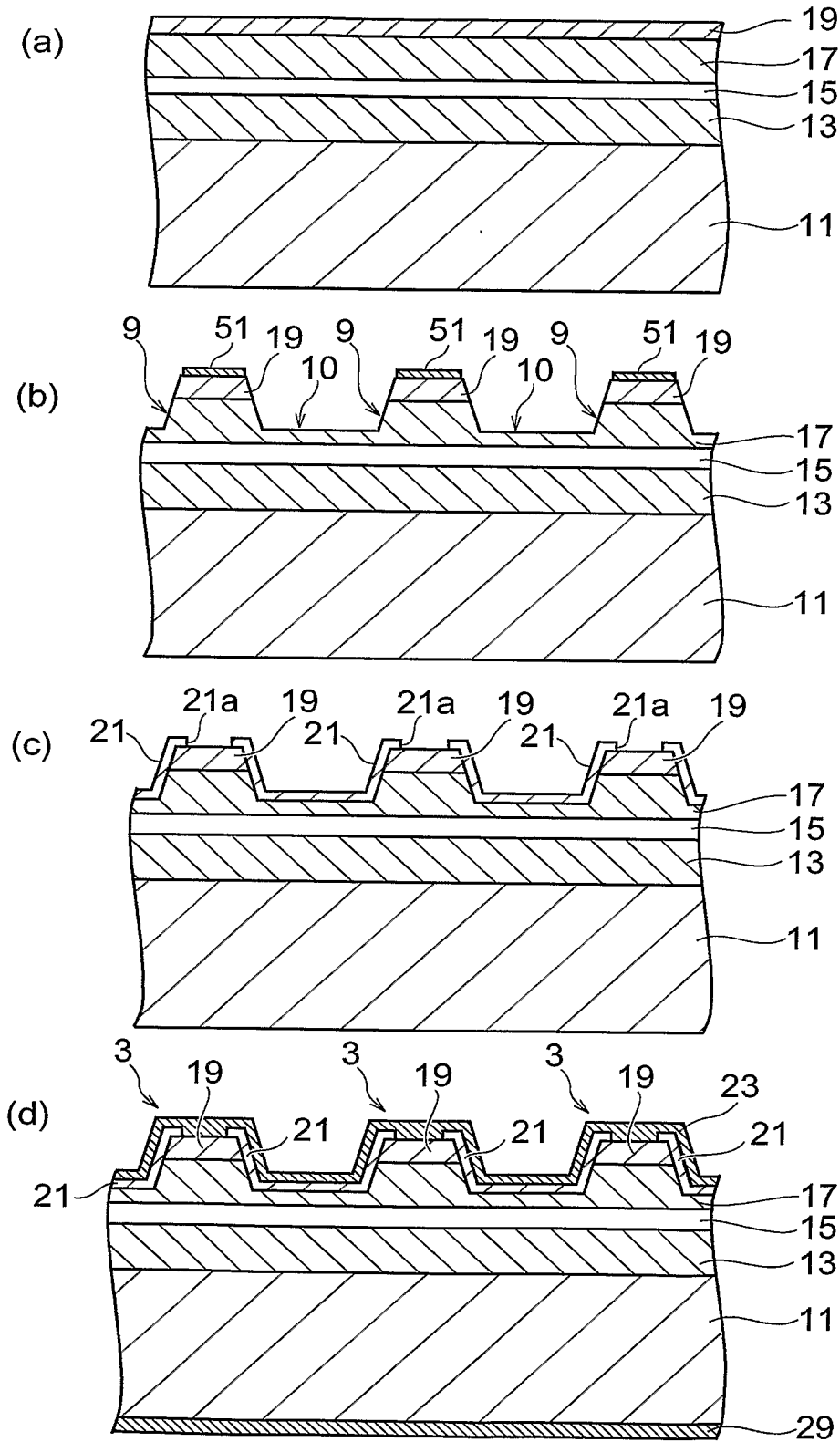


【図 4】

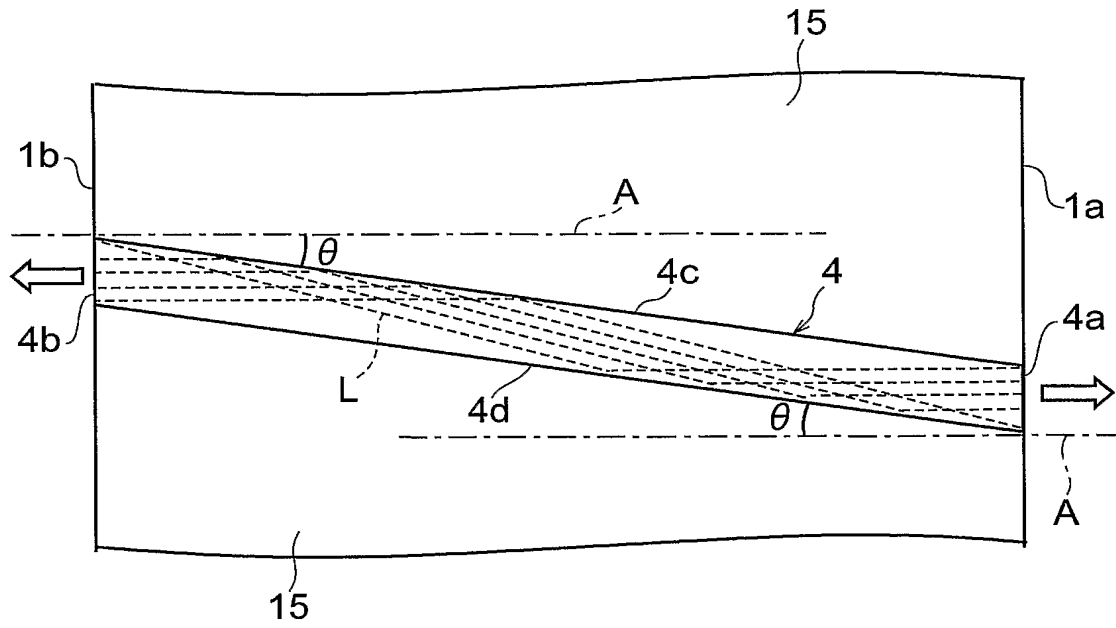




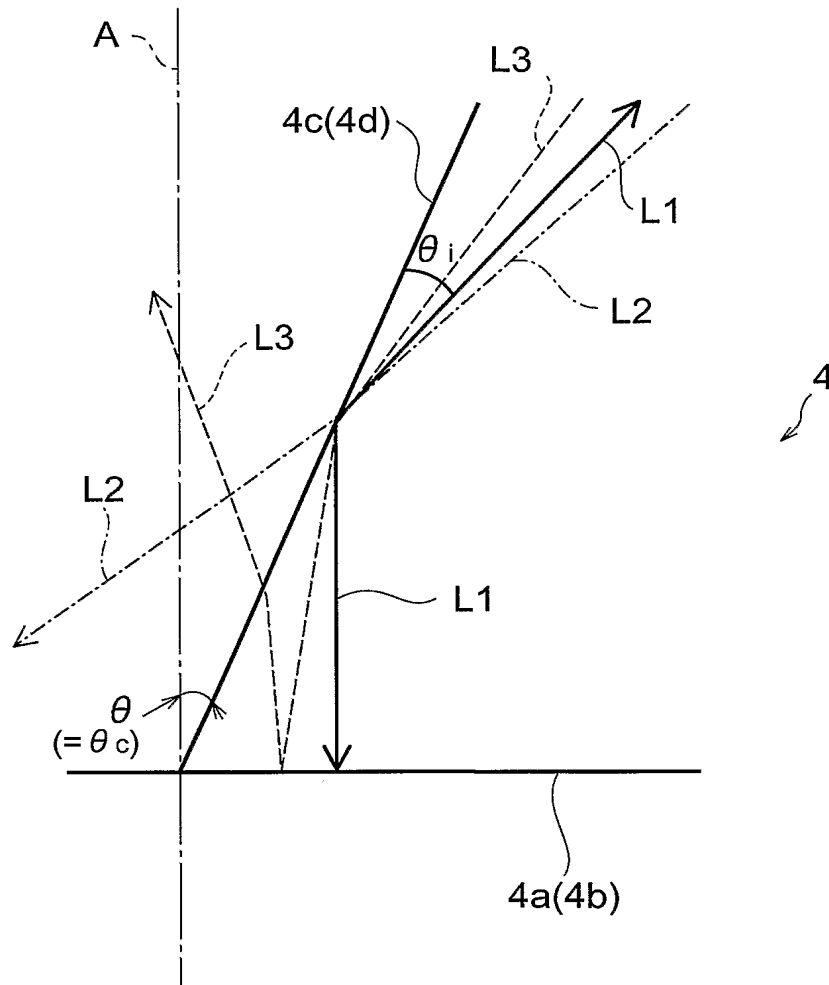
【図 5】



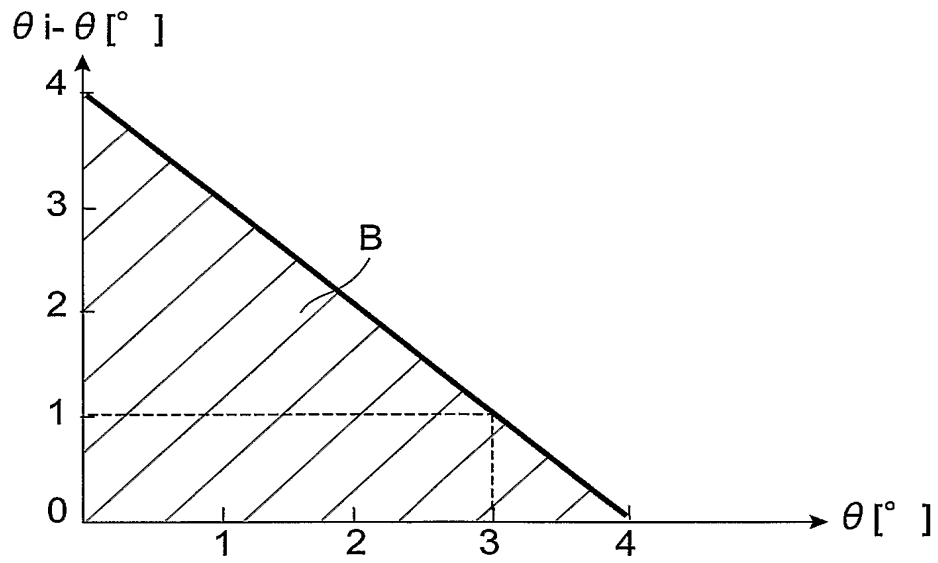
【図 6】



【図 7】

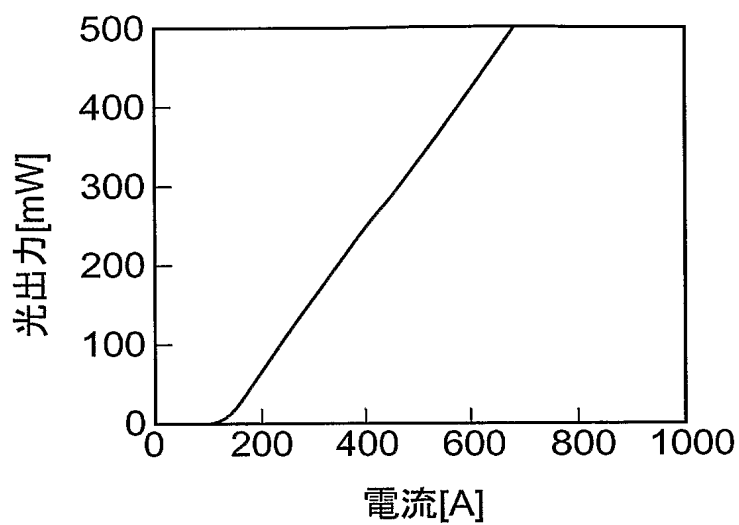


【図 8】

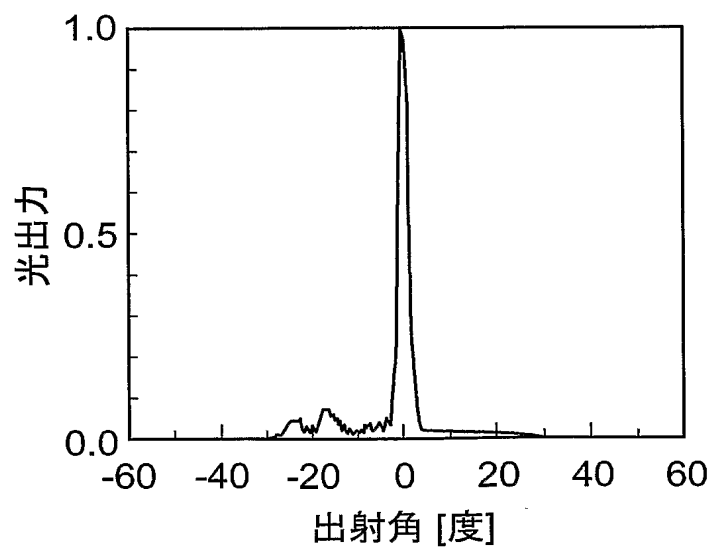


【図 9】

(a)

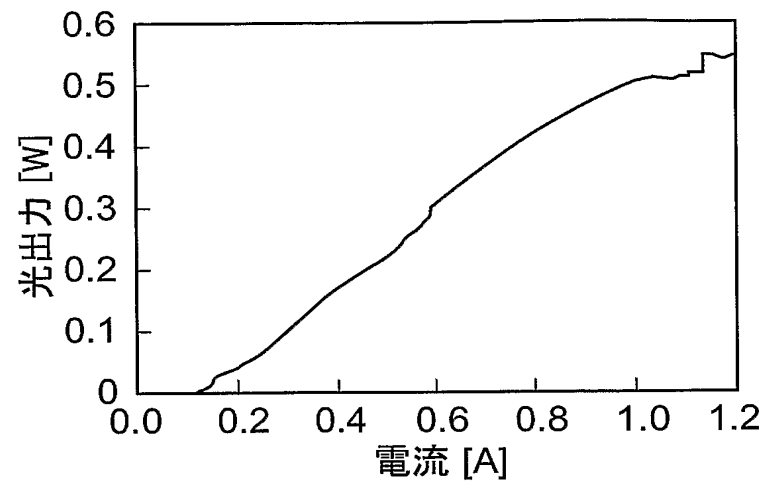


(b)

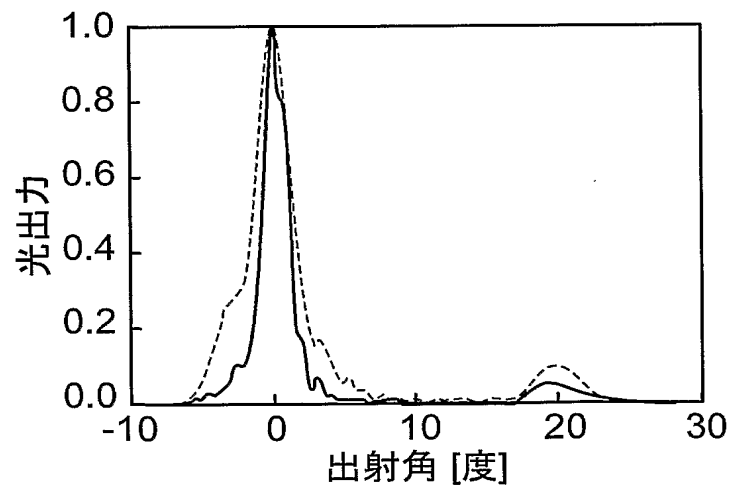


【図 10】

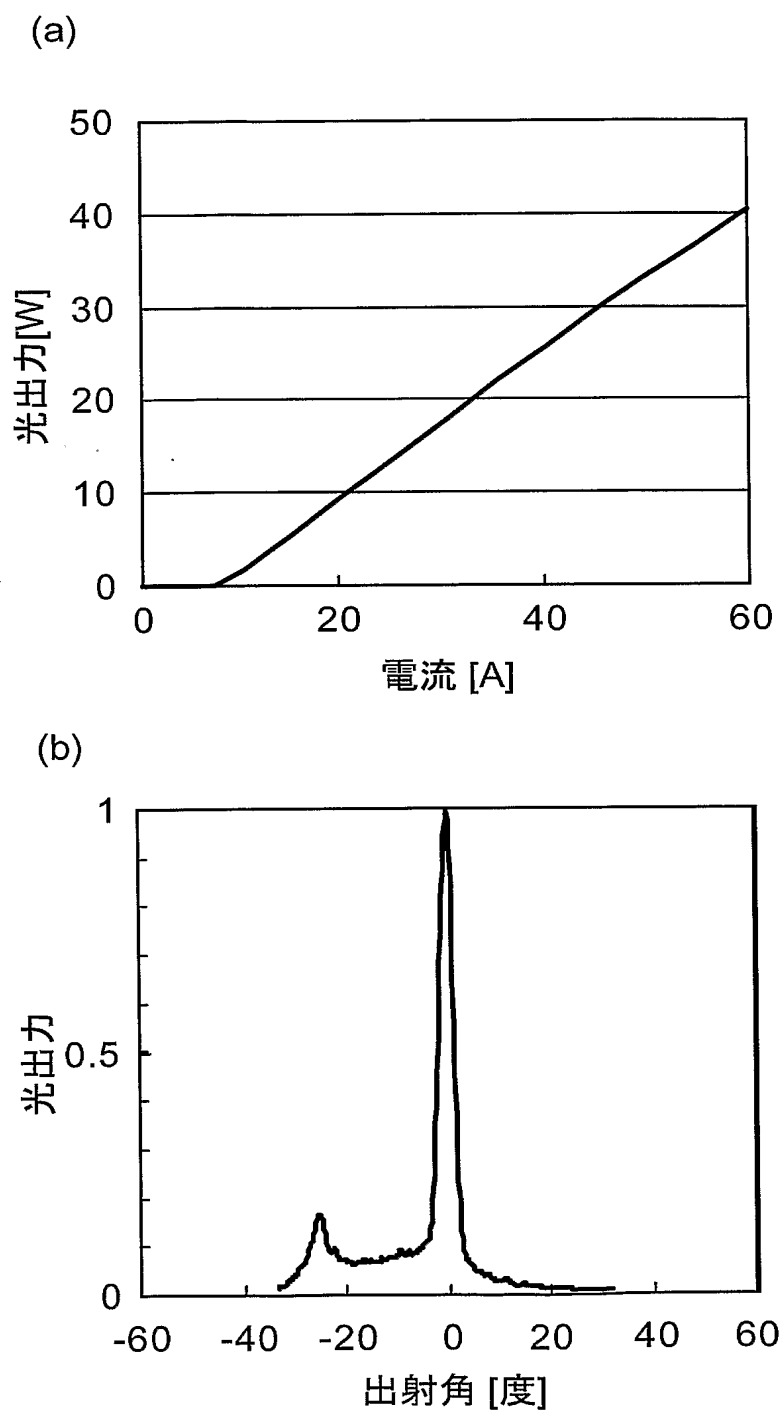
(a)



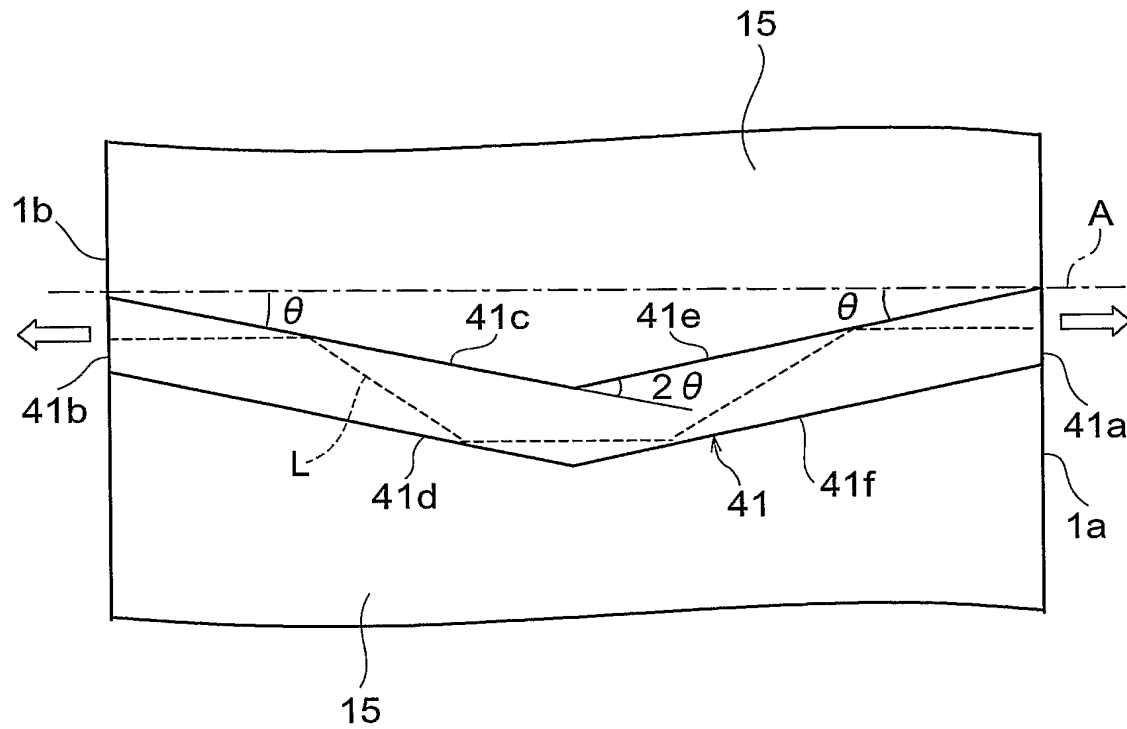
(b)



【図 11】

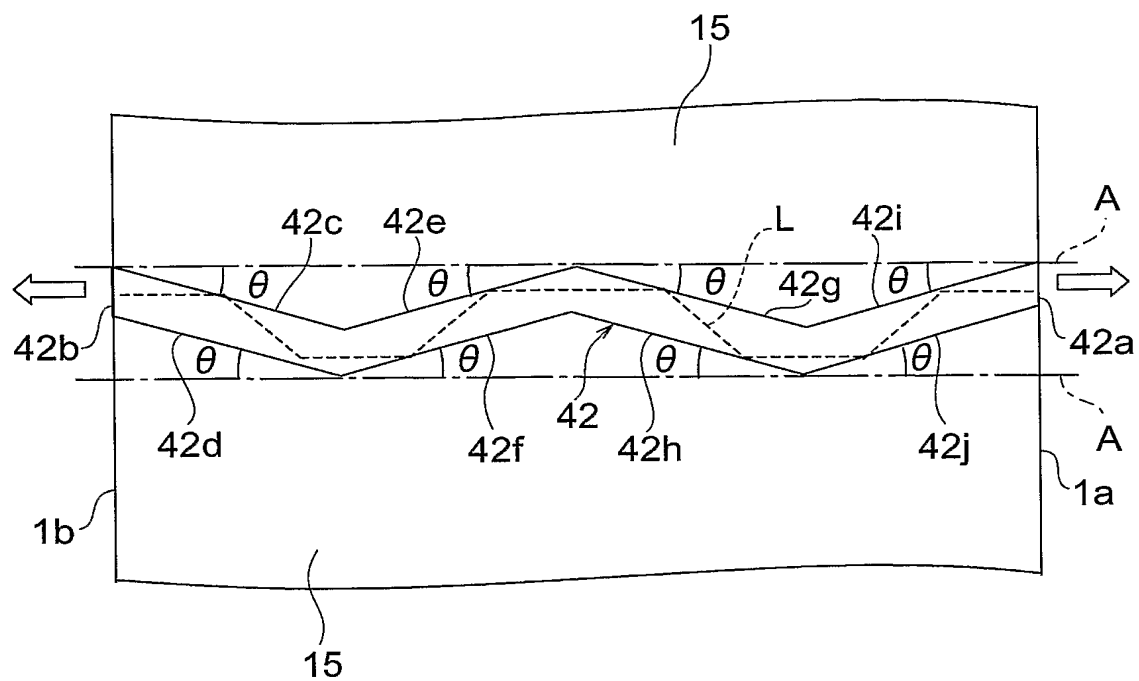


【図 12】

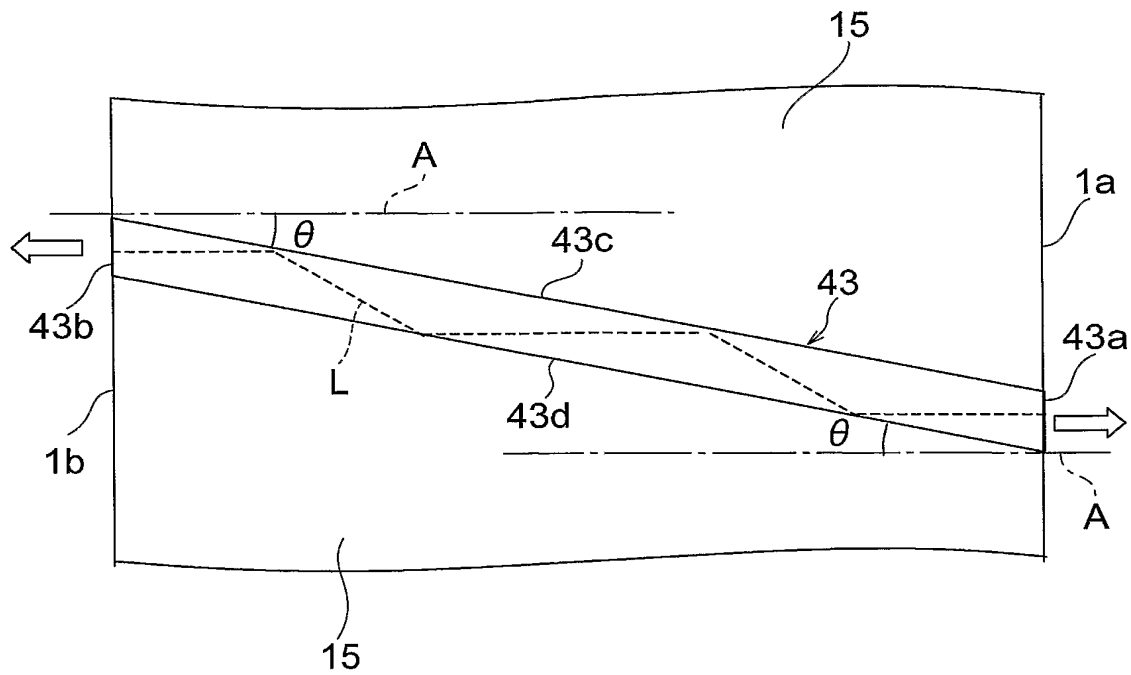




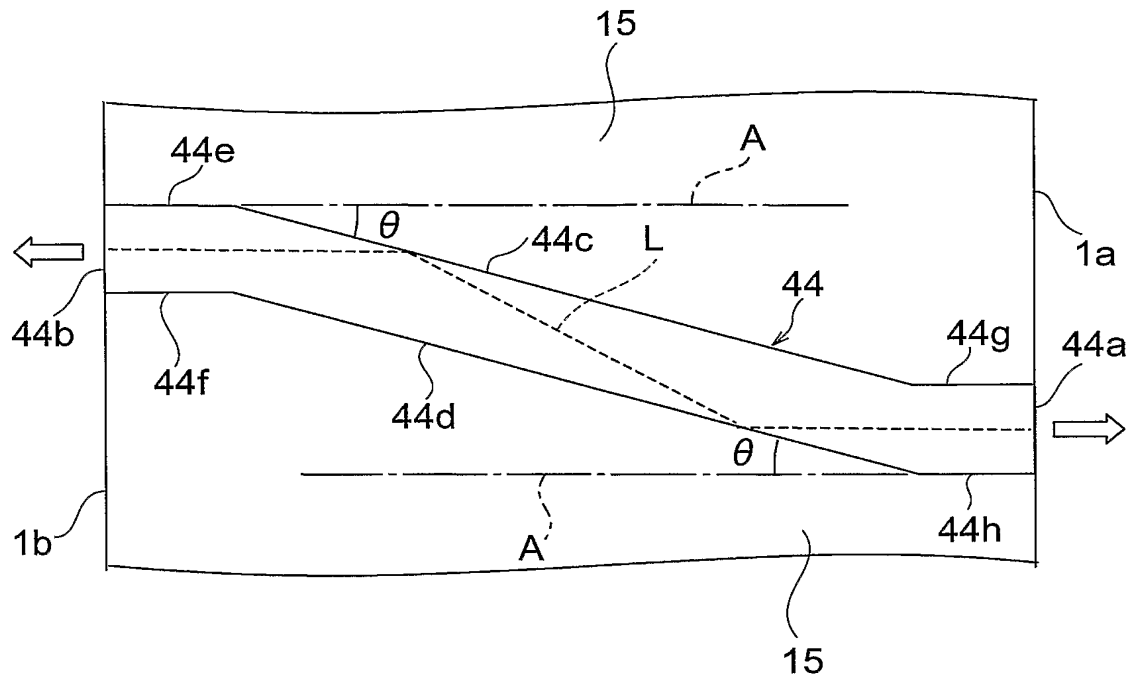
【図 13】



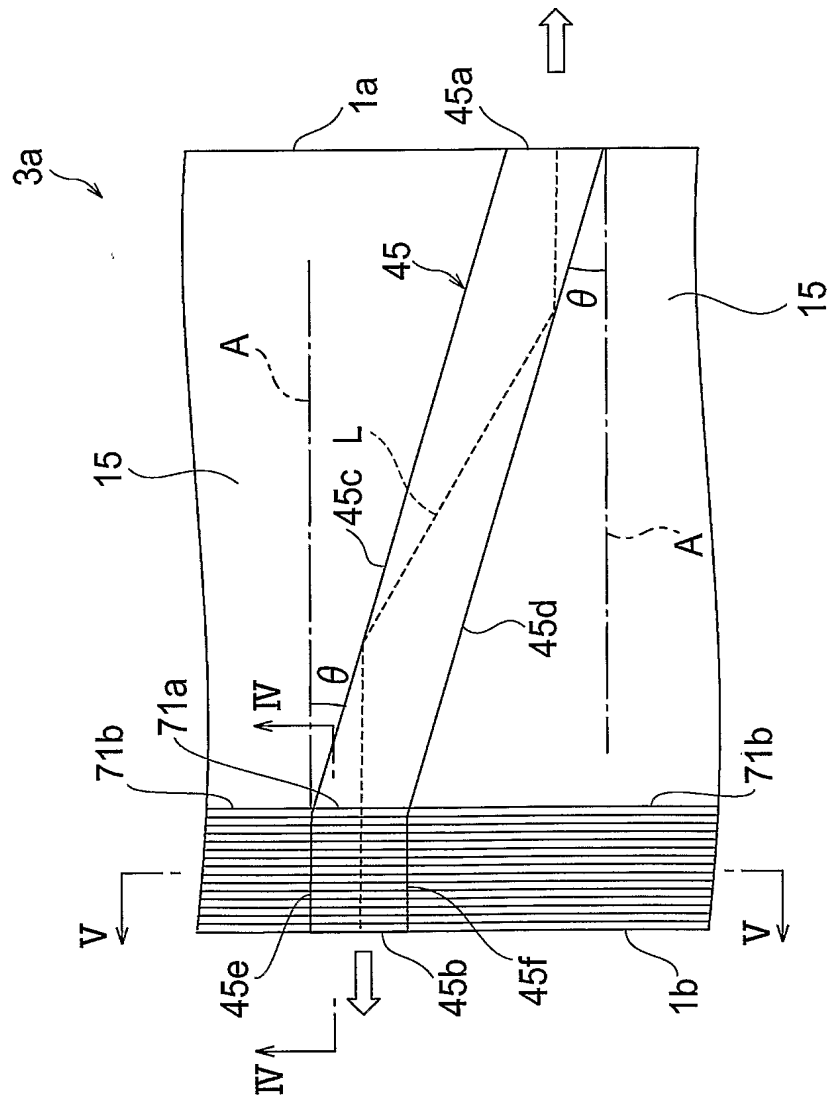
【図 14】



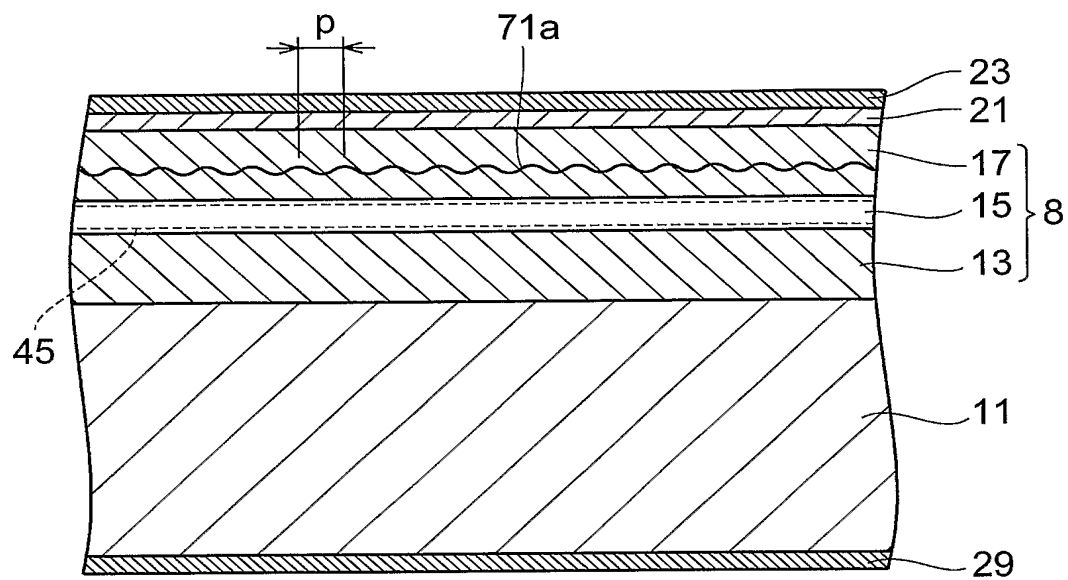
【図 15】



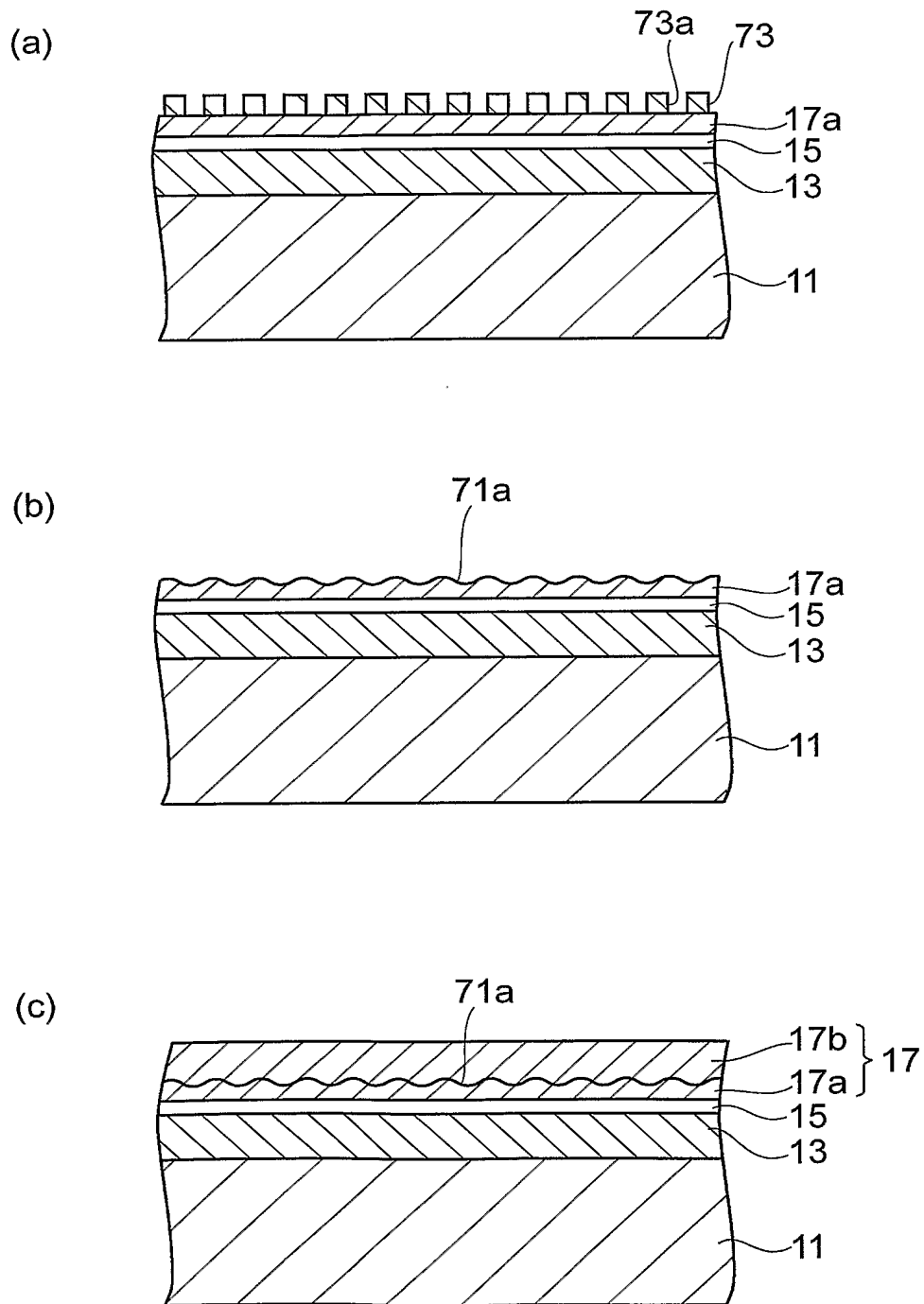
【图 16】



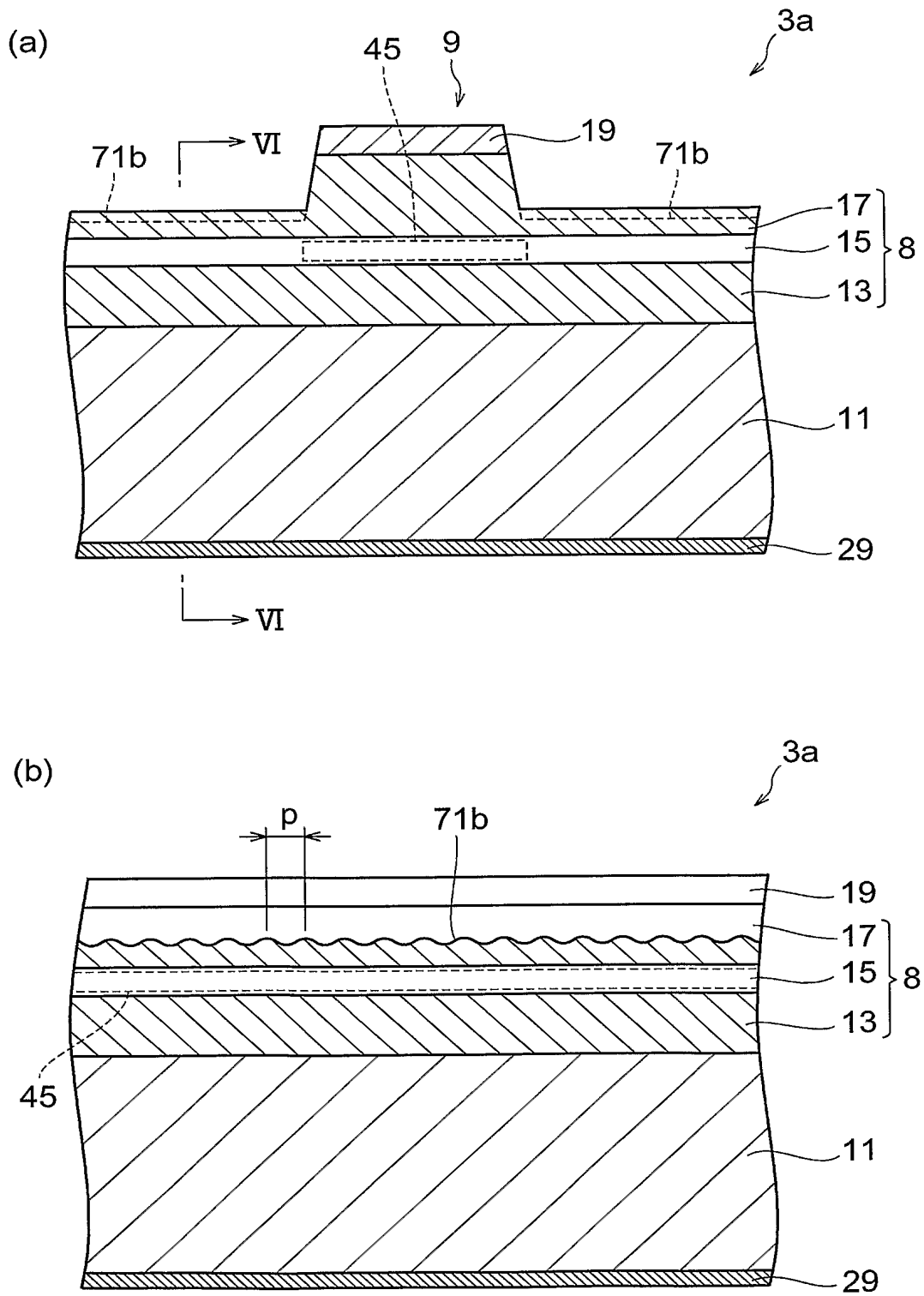
【図 17】



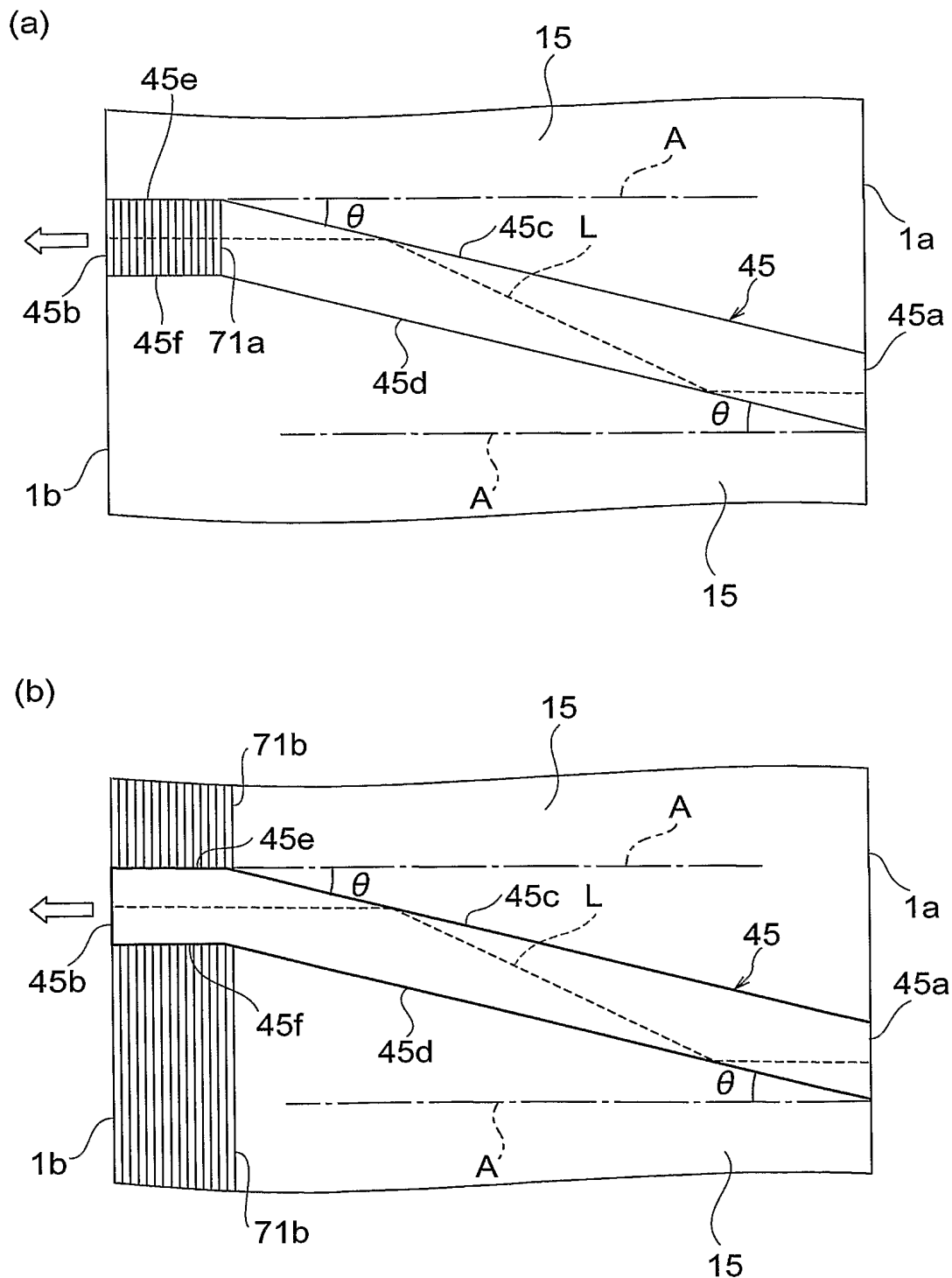
【図 18】



【図 19】

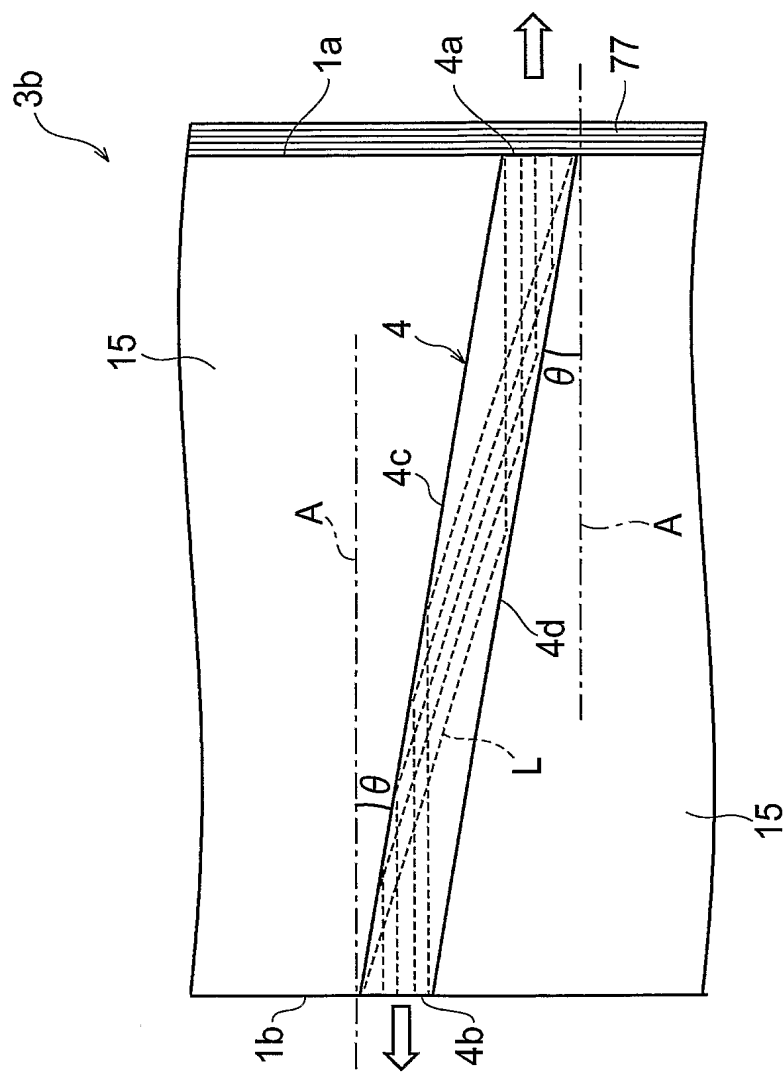


【図 20】

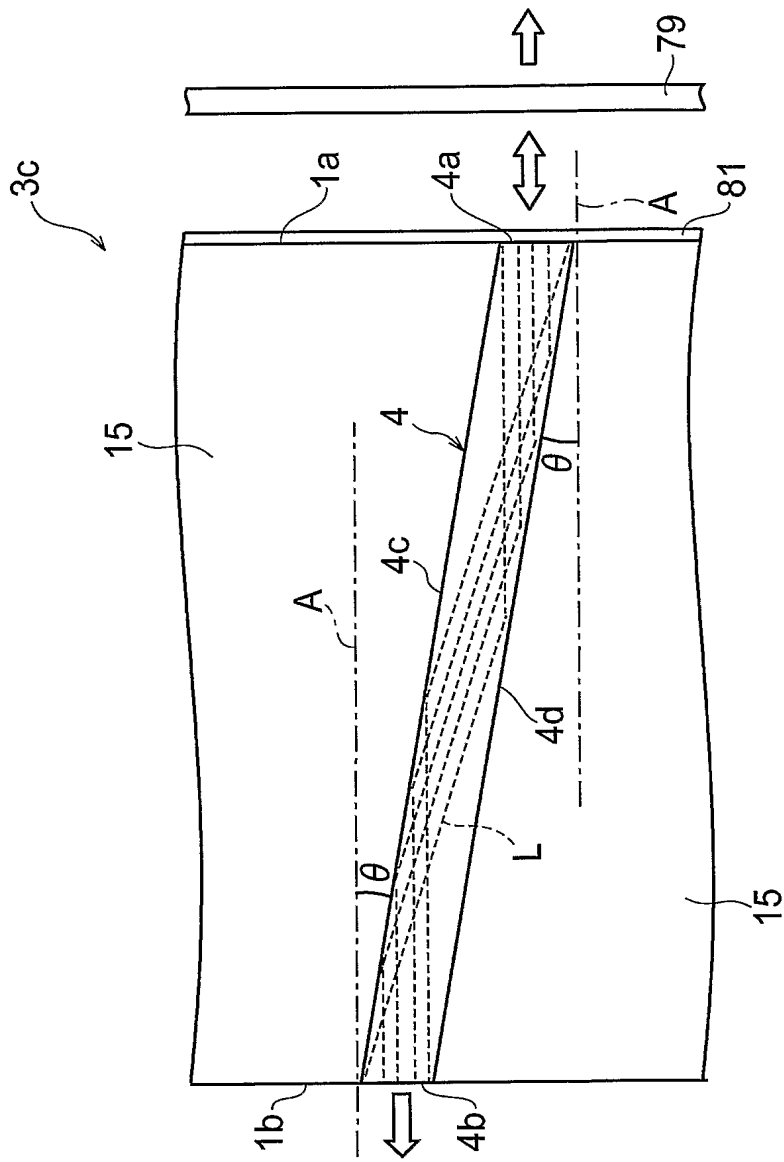




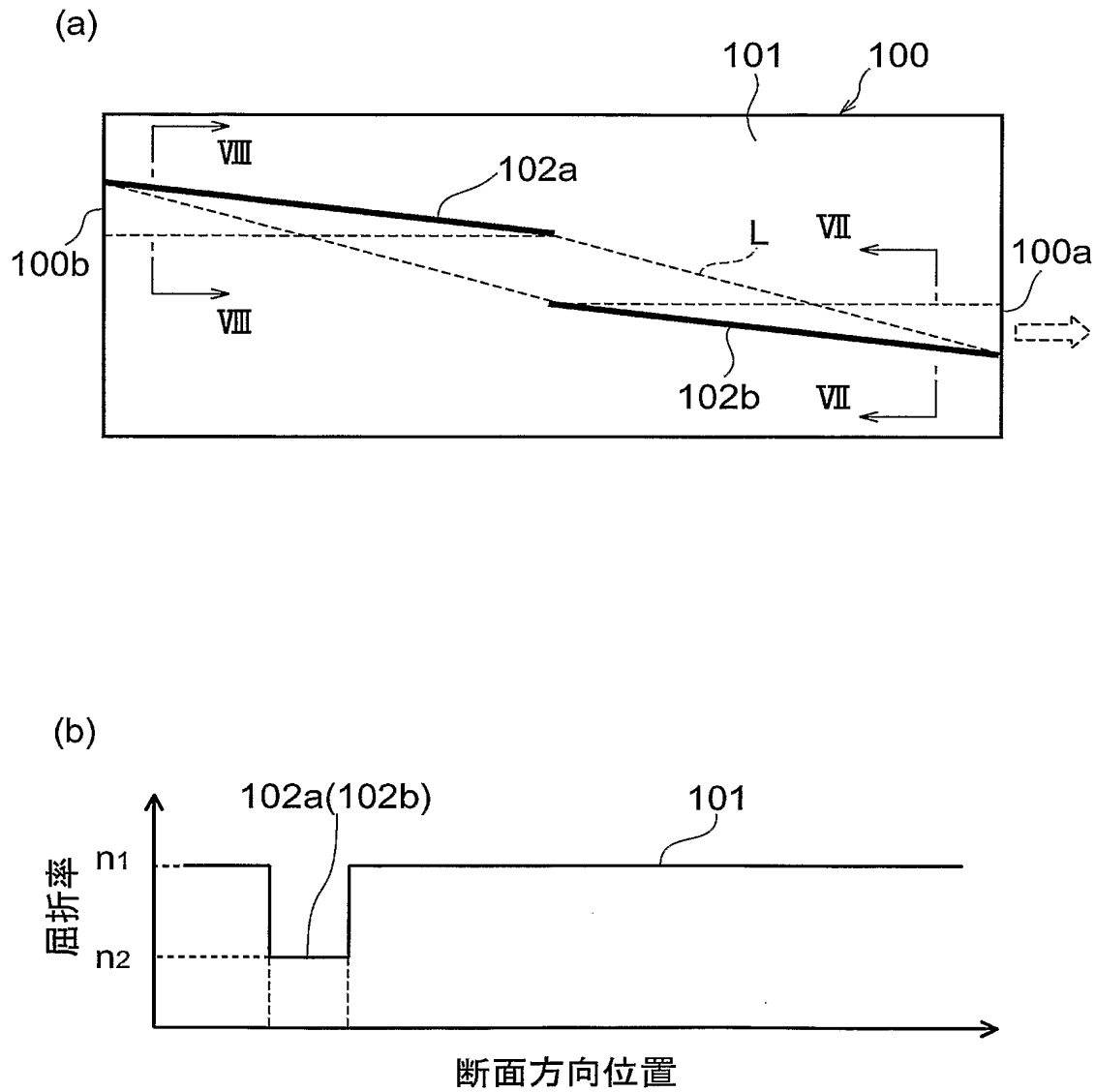
【図 21】



【図 22】



【図 23】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 比較的大きな強度の空間横単一モードレーザ光を出射可能であって、レーザ光の出射角が小さく、構成が単純であり、且つ効率のよい半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子アレイを提供する。

【解決手段】 半導体レーザ素子 3 は、n 型クラッド層 13 と、活性層 15 と、p 型クラッド層 17 とを備える。p 型クラッド層 17 は、活性層 15 に屈折率型導波路 4 を形成するリッジ部 9 を有する。屈折率型導波路 4 は、一对の側面 4c 及び 4d を有する。一对の側面 4c 及び 4d は、該側面 4c 及び 4d における全反射臨界角余角  $\theta_c$  に基づく角度  $\theta$  で所定の軸方向 A と交差している。屈折率型導波路 4 内を共振するレーザ光 L の光路は、側面 4c 及び 4d において全反射される光路のみに限定される。従って、レーザ光 L が空間横単一モードとなり、さらに導波路幅を広くすることができるため出射角を小さくできる。

【選択図】 図 6

特願 2 0 0 4 - 2 0 2 4 0 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 1 0 日
[変更理由]	新規登録
住 所	静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1
氏 名	浜松ホトニクス株式会社